This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

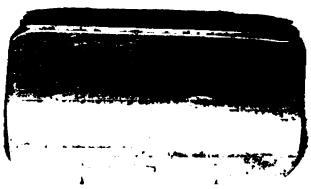
Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

$B 26 415

YC 13192

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.
Class



Enteisenung

von

Grundwasser.

Mit 3 Diagrammen und 5 Abbildungen.

Von

L. Darapsky.

Leipzig.
Verlag von F. Leineweber.
1905.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF
CALIFORNIA

Was ist das Allgemeine? Der einzelne Fall.
Was ist das Besondere? Millionen Fälle.

I. Das Auftreten und Verhalten eisenhaltigen Wassers.

Dass Eisen in jedem dem Boden entstammenden Wasser gefunden wird, kann bei der grossen Verbreitung, welche dieses Element in der Natur besitzt, nicht verwundern. Eher müsste im Gegenteil sein Fehlen erstaunen. Steht doch das Eisen mit 5,46 Prozent an vierter Stelle (nach F. W. Clarke) im Aufbau der gesamten festen Erdkruste. Wenn es trotzdem im Wasser, das bekanntlich alle Gesteinsarten, mit verschiedener Kraft freilich, angreift, für gewöhnlich in äusserst geringen Mengen auftritt, so kommt dies lediglich daher, dass (im gebräuchlichen Sinne des Wortes) lösliche Eisenverbindungen selten in den Bereich des Wasserkreislaufs gelangen. Das einmal Gelöste macht sich eben seiner Geringfügigkeit wegen kaum bemerkbar, einmal abgeschieden aber entzieht es sich hartnäckig der Wiederauflösung. So beruht die rote oder gelbe Färbung aller Sande, Tone und selbst vieler massiger Gesteine fast ausschliesslich auf freiem Eisenoxyd, das unter dem Mikroskop sich als eine der gemeinsten Beimengungen zu erkennen gibt.

1. Stahl- und Eisenwässer. Seine Gegenwart im Wasser verdiente trotzdem schwerlich Beachtung, wenn nicht selbst bei verhältnismässig geringen Gehalten unter Umständen das Eisen freiwillig sich ausschiede und dadurch unliebsame Störungen veranlasste. Die sogenannten Vitriolwässer, das sind solche, in denen schwefelsaures Eisen meist als Oxydationsprodukt von Erzlagerstätten vorkommt, können

157798

bei Seite bleiben, weil sie die Ausnahme bilden und auch in ihrem übrigen Verhalten den verbreiteten Grundwässern sich nicht anschliessen. Dagegen sind die sogenannten Stahlwässer nach gewöhnlicher Annahme das Musterbild solcher leicht zersetzlicher Mischungen, insofern als in ihnen das Eisen offenbar durch einen Überschuss an Kohlensäure in Lösung gehalten wird. Dazu können noch andere Karbonate sich gesellen; besonders häufig auch Kochsalz und alkalische Erdchloride. Selten dagegen wie in der Haupttrinkquelle in Pyrmont Sulfate in bemerkenswerter Menge. Ausnahmsweise sind diese Wässer so rein wie der Ferdinandbrunnen bei Helmstedt mit 60 mgr Eisencarbonat im Liter. Meist machen sich auch organische Substanzen geltend; der Eisengehalt selbst steigt kaum über 35—40 mgr im Liter. Solche Quellen finden sich nicht nur im Gebirge wie die Stahlquellen von Bocklet in Bayern, sondern auch in der Tiefebene wie Doberan und Goldberg in Mecklenburg. Besonders reich sind die Aguas de Bar bei Coruña in Spanien mit 61, Weinheim in Baden mit 64, Kellberg in Niederbayern mit 70 und Godelheim in Westfalen mit 110 mgr Eisen im Liter[1]).

Ihre Verbreitung beweist die Unabhängigkeit von der Bodenart; von den bescheidener als Eisenwässer bezeichneten Grundwässern, welche in allen Alluvionen so vorherrschend werden, unterscheiden sie sich in dieser Hinsicht nur gradweise. Mit der Kohlensäure vermindern sich zunächst die übrigen Salze. Immerhin verleugnen diese echt bodenständigen Wässer (es gibt ganze Flussläufe, die daraus sich zusammensetzen) auch darin ihre Herkunft nicht, dass sie meist einen noch immer stark mineralisierten Typus darstellen. Der Trockenrückstand ist infolgedessen reichlich, die Farbe blind oder direkt gelbbraun, organische und organisierte Beimengung vorwiegend, Ammoniak und Schwefelwasserstoff gewöhnlich. Ein allgemeines Kennzeichen in Bezug auf die begleitenden gelösten Stoffe gibt es freilich nicht; die gleiche Zusammensetzung passt auf

[1]) Nach H. Raspe's Heilquellenanalysen.

unmittelbar nebeneinander entspringende eisenfreie und eisenbeladene Wässer. Auch wechselt der Eisengehalt auf kurze Entfernungen und zeitlich an derselben Stelle oft sehr beträchtlich. Untrüglich ist nur ein einziger Charakter: dass sie beim ruhigen Stehen sich trüben, und mehr oder weniger schnell einen okerigen Niederschlag fallen lassen. Nur wo diese Erscheinung zutrifft, pflegt man überhaupt von Eisenwasser zu sprechen.

2. Eisenabscheidung. Alle Schriftsteller, welche der Frage der Reinigung näher traten, haben den Vorgang der Zersetzung eingehend geschildert, die übrigens in jedem Einzelfalle auffallende Verschiedenheiten zeigt. Während ein Wasser schon beim Schöpfen im Glase einen leichten Schleier annimmt, hält sich anderes Stunden, ja halbe Tage lang unverändert. Bald sieht sich das Ausgeschiedene milchig fein, bald flockig gelb und derb an. Dabei ist keineswegs die absolute Eisenzahl massgebend. Auch die Unterstellung einer Abnahme mit der Zeit im Sinne einer logarithmischen Kurve, die E. Prinz[1]) entwickelt, trifft nicht zu; der dabei übrig bleibende Rest ist in Wirklichkeit weit geringer und unmittelbar aus dem Gesetz der Massenwirkung ableitbar, wonach jede Reaktion, bei welcher Substanzmengen aus dem Spiel treten ohne ersetzt zu werden, sich immer mehr verlangsamt und genau genommen erst in unendlich langer Zeit zum Abschluss gelangt. Die Wilhelmy'sche Formel in der Fassung von Guldberg & Waage für unimolekulare Veränderungen, welche Schmidt & Bunte, die mit künstlichen Lösungen von Ferrokarbonat operierten[2]) zu Grunde legten, brachte auch keine scharf erkennbare Konstante. Der Vorgang wird später bei Besprechung der Versuche, welche ein neues, äusserst rasches Verfahren zur Eisenabscheidung begründen sollen, in das rechte Licht gesetzt werden.

---

[1]) Eisenhaltiges Grundwasser und die konstruktive Behandlung von Enteisenungsanlagen (Journ. f. Gasbel. und Wasservers. XLV. 1902 Nr. 9 S. 152).

[2]) Über die Vorgänge bei der Enteisenung des Wassers (Journ. f. Gasbel. u. Wasservers. XLVI. 1903. Nr. 25 S. 481).

Proskauer[1]), der mit Oesten zuerst systematische Versuche über die oxydierende Behandlung Berliner Grundwässer durchführte, beobachtete für ein Gemisch aus 17 Brunnen der Potsdamer Wasserwerke mit 3,1 mgr/Ltr. Eisenoxydul nach

24	Stunden	2,7	FeO
2	Tagen	1,95	„
3	„	1,6	„
5	„	0,9	„
8	„	0,7	„
14	„	0,5	„
21	„	0,3	„

Piefke[2]) gibt für ein ähnliches Wasser mit

3,24	FeO	nach	6	Stunden	0,90	mgr/Ltr.	FeO
„	„	„	21	„	0,72	„	„
„	„	„	24	„	0,59	„	„
„	„	„	30	„	0,45	„	„

Andere Reihen sollen unten in anderem Zusammenhang folgen.

Den gelöst bleibenden Teil des Eisens gibt Proskauer auf „höchstens 0,35 mgr/Ltr. Eisenoxydul (bei Flachbrunnen aus moorigem Untergrund bisweilen 0,7 mgr)". Auch entging es ihm nicht, dass „nach der Abscheidung des Eisens eine Verminderung der Oxydierbarkeit und des Ammoniakgehaltes" festzustellen ist. Ausnahmsweise trübt sich das Rendsburger Leitungswasser[3]), obwohl es nur 0,4 mgr führt.

Der Wechsel im Eisengehalt konnte natürlich nur bei wiederholter Prüfung desselben Wassers hervortreten, wie solche bei Wasserwerken zur Pflicht wird. Für eine Reihe von Jahren sind auffallende Schwankungen in Kiel bekannt geworden. Aber auch in kleinen Perioden zeigen sie sich häufig, ja eigentlich im Gegensatz zu den übrigen Mineralbestandteilen, besonders auch zu der gebundenen Kohlensäure, als Regel.

---

[1]) Beiträge zur Kenntnis der Beschaffenheit von stark eisenhaltigen Tiefbrunnenwässern und die Entfernung des Eisens aus denselben (Zeitschr. f. Hyg. IX. 1890. S. 148).

[2]) Über die Nutzbarmachung eisenhaltigen Grundwassers (Journ. f. Gasbel. XXXV. 1891. S. 61).

[3]) Deutsche Bauzeitung. 1896. Nr. 69 u. 71.

Als weitere Begleiterscheinung macht Prinz[1]) das Auftreten von Schwefelwasserstoff, freilich meist in geringer Menge namhaft. Endlich — und das ist leicht der wichtigste Charakter, wie weiterhin zu zeigen sein wird — fehlt nie eine beträchtliche Beimengung von organischer, namentlich humusartiger Substanz.

Das gibt im Zusammenhang gerade kein einladendes, am allerwenigsten ein appetitliches Bild. In der Tat brachten und bringen noch immer die eisenhaltigen Grundwässer die Hygieniker in viele Verlegenheiten. Von Wakefield wird erzählt, dass beim Gesundheitsamt dort 1868 ein Schreiben einging, worin anscheinend mit abgeblasster Tinte, in der Tat aber mit Wasser aus dem Calderflusse das tiefe Bedauern zu lesen stand, dass der Verfasser nicht auch den Geruch der Schreibflüssigkeit mitgeben könnte. Das sollte man denken, müsste in erhöhtem Masse von Grundwasser wie dem geschilderten gelten. Aber der Fehler ist verhältnismässig leicht zu beheben; mit der Entfernung des Eisens verliert sich meist aller schlechter Geruch und Geschmack und es bleibt ein reines gesundes Getränk. Diese Abscheidung herbeizuführen, und zwar so ausgiebig wie möglich, bildet sonach eine dankbare Aufgabe.

3. Verhalten zu Sauerstoff und Kohlensäure. Es schien sogar, als ob das Eintreten einer Trübung auf die Dauer überhaupt nicht zu hindern oder doch jedenfalls zu hindern schwieriger sei, als die Abscheidung des Eisens bis zum Klarbleiben zu bewirken. Dunbar[2]) gelang es durch umständliche Vorsicht, nachzuweisen, dass einzig der Zutritt des Sauerstoffes der Luft diese Veränderung hervorruft, die ohne denselben sich beliebig lange hintanhalten lässt. Die geringste Menge Luft genügt aber, um die Fällung einzuleiten.

Die älteren Beobachter hatten als Vorbedingung der Reinigung das Entweichen der Kohlensäure betont.

---

[1]) L. c. S. 163.

[2]) Zur Frage über die Natur und Behandlung eisenhaltigen Grundwassers (Zeitschr. f. Hyg. u. Infektionskrankheiten. XXII. 1896. S. 68).

Aus Dunbar's Angaben muss man schliessen, dass deren Gegenwart hierfür belanglos sei, ja dass selbst Einleiten von Kohlensäure nichts an der Enteisenung ändert.[1]) Das Herbeiziehen dieses Lösungsmittels geschah übrigens nicht in Anlehnung an die sogenannten Stahlquellen. Denn es war leicht festzustellen, dass die Menge freier und gebundener Kohlensäure in eisenreichen Grundwässern gegenüber eisenfreien durchaus nicht überwiegt, wenn es erlaubt ist, mit letzterem Ausdruck einfach alle diejenigen zu begreifen, in denen keine freiwillige Eisenabscheidung eintritt. Eisenfrei im rigoros chemischen Sinne ist natürlich kaum irgend ein natürliches Wasser. Es wird es aber praktisch, sofern der Restgehalt an Eisen weder mit der Zeit noch beim Kochen ausfällt.

4. Eisen als Karbonat gedacht. Piefke[2]) hat wohl zuerst am bestimmtesten sich dafür ausgesprochen, dass die Kohlensäure das Eisen in Lösung erhält, so zwar, dass eine solche überhaupt nur dadurch zu Stande kommt, dass es mit anderen Karbonaten als kohlensaures Eisenoxydul aus der Umgebung ausgelaugt wird. Auf den Eisenreichtum, fügt er gleichwohl bei, „ist nicht ohne Einfluss die vorangegangene Aufnahme von organischer Substanz. Man wird gewöhnlich finden, dass Wässer, die nach dieser Richtung hin starken Verunreinigungen ausgesetzt waren, reicher an Eisen sind, als solche die davon verschont geblieben.“[3]) Nach elektrolytischer Betrachtungsweise ist das Vorhandensein eines bestimmten Eisensalzes in solch verdünnter Lösung überhaupt unzulässig; selbst die Bindung mit Sauerstoff zu Oxydul ist bei der wohl völligen Dissoziation ausgeschlossen und das zweiwertige Eisenatom Dank seiner stark basischen Natur völlig isoliert zu denken. Eine Bestimmung der Verbindungsform, wie sie früher für die Mineralbestandteile des Wassers erforderlich schien, wäre sonach an sich müssig.

Aber die Rolle, welche der Kohlensäure nach der

---

[1]) Dunbar und Kryck in Journ. f. Gasbel. XLI. 1898. S. 545.
[2]) Über die Nutzbarmachung eisenhaltigen Grundwassers (Journ. f. Gasbel. u. Wasservers. XXXIV. 1891. S. 61).
[3]) L. c. S. 62.

verbreitetsten Auffassung zukommt, ist im Wesentlichen eine genetische, d. h. sie soll die Gegenwart von Eisen im Wasser überhaupt erklärlich machen, berührt sich also direkt mit der Frage nach der Herkunft des Eisens. Abgeleitet davon ist die Deutung der an der Luft erfolgenden Eisenabscheidung durch den Zerfall des Bikarbonats infolge Abdunstung der halbgebundenen Kohlensäure. Wie wenig diese Anschauung gegründet ist, wurde bereits angedeutet. Gar von „auskrystallisiertem Ferrokarbonat“[1]) zu reden, das sich weiter erst in Eisenoxydhydrat verwandele, beruht auf einem Verkennen der chemischen Möglichkeiten. Da nun Bischoff, Finkener, Proskauer bei alten Eisenschlammabsätzen auch Phosphorsäure nachweisen konnten, glaubt sich der letztere[2]) „zu dem Schluss berechtigt, dass das Eisen in den in Rede stehenden Grundwässern zum grössten Teil als Bikarbonat, zum Teil aber auch als Phosphat gelöst enthalten ist.“

Die Wirkung der organischen Stoffe aber sollte darin bestehen, auf Kosten etwa im Boden vorhandenen Eisenoxyds die eigene Atmung zu bestreiten und mit der als Endprodukt dieses Vorganges gedachten Kohlensäure das gebildete Oxydul in Lösung überzuführen. So bilden sich Tiemann-Gärtner[3]) die Vorstellung: „Ferrokarbonat wird häufig in tiefen, zumal braunkohlehaltigen Schichten von Wässern aufgenommen, welche sich in den oberen Erdschichten bei der Verwesung der daselbst vorhandenen organischen Materie mit Kohlensäure beladen haben und gleichzeitig des gelösten Sauerstoffs zum grössten Teil beraubt worden sind.“

Dass schliesslich bei dem Zerfall des Karbonats nicht alles Eisen glatt wieder ausfällt, erklärt Oesten[4]) damit, dass die Lüftung unvollkommen wirkt, „wenn es ganz oder zum Teil an Huminstoffe gebunden auftritt, die selbst erst oxydiert werden wollen, bevor sie

---

[1]) Der Hydrotekt I. Nr. 14. S. 168.
[2]) Zeitschr. f. Hyg. IX. 1890. S. 160.
[3]) Handbuch der Untersuchung der Wässer. 4. Aufl. S. 18.
[4]) Die Enteisenung des Grundwassers (Zeitschr. d. Ver. D. Ing. 1900. S. 982. Gesundheit. 1901. Seite 97).

das Eisen fallen lassen.“ Helm[1]) erklärt geradezu in dem von ihm benutzten Danziger Wasser 20—30 Prozent des Eisens an Humussäure fest gebunden, welcher Teil darum an der Luft ohne Veränderung bleiben sollte. Ein näherer Beweis wird hierfür nicht erbracht. Oesten[2]) aber konnte seine Anschauung wenigstens darauf stützen, dass er direkt einen mehr als zehnfachen Sauerstoffverbrauch beobachtete, als er dem vorhandenen Eisenoxydul zukommt. Eigene Versuche, über welche weiter unten berichtet wird, beweisen indessen, dass sich jeder gewünschte Grad der Eisenreinheit durch geeignete Belüftung erzielen lässt und geben zugleich Aufschluss über den entsprechenden physikalischen Vorgang.

II. Herkunft des Eisens.

1. Künstliche Lösungen. Um in den Wert dieser Erklärungsversuche und die Form, in welcher das Eisen überhaupt in das Grundwasser gelangen kann, eine bessere Einsicht zu gewinnen, erscheinen Versuche mit reinen Stoffen an erster Stelle berufen. Künstliche Lösungen von Eisenkarbonat sowohl als einigen in natürlichen Wässern häufigen Salzen verwandten in gleicher Absicht Schmidt & Bunte.[3]) Sie bereiteten nach dem Vorgang von Hauer zunächst eine gesättigte Lösung von Eisenbikarbonat durch mehrtägiges Einleiten von Kohlensäure in Wasser, welches ferrum hydrogenio reductum aufgeschwemmt enthielt und erzielten bis 1,65 gr $FeCO_3$ im Liter. Auf dieselbe Weise bekam ich 1,755 gr $FeCO_3$ oder 848 mgr Fe. Tucker[4]) gelangte nach mehrstündigem Einleiten des Gases zu frisch gefälltem Eisenkarbonat auf 1,134 gr $FeCO_3$ bei 21° und 2,594 gr $FeCO_3$ bei 0°. Beim Ver-

---

[1]) Über ein neues Verfahren zur Enteisenung von Grundwasser (Journ. f. Gasbel. XLIV. 1901. S. 886).

[2]) Sauerstoffaufnahme des Wassers (Journ. f. Gasbel. XLV. 1902. S. 284).

[3]) Journ. f. Gasbel. XLVI. 1903. S. 486.

[4]) On the solvent action of carbonic anhydride (Journ. of the Am. Chem. Soc. vol. III. 1881. No. 27).

tauschen des destillierten Wassers mit Wasser aus dem artesischen Brunnen am hiesigen Anckelmannsplatz mit 1 mgr/Ltr. Fe, dessen Analyse später folgt, erhielt ich nach 8 Tagen, d. i. so lange noch Gasentwicklung stattfand, 559 mgr $FeCO_3$ oder 270 mgr Fe. Bei Verwendung des ausgekochten Wassers vom Hofbrunnen der Fabrik von Deseniss & Jacobi, auf welches sich die meisten später mitzuteilenden Veranstaltungen beziehen, mit einem Eisenrest von 0,12 mgr/Ltr. Fe,

nach 2 Tagen 312 mgr/Ltr. Fe
„ 8 „ 504 „ „

Der Grund des verschiedenen Verhaltens in beiden Fällen ist ohne Frage in der Anwesenheit anderer Stoffe, zumal alkalischer Erdsalze, zu suchen. Das erhellt aus der Beigabe eines Überschusses von frisch gefälltem Calciumkarbonat zu dem Hofbrunnenwasser bei sonst gleichen Umständen. Resultat: 42,8 mgr/Ltr. Fe. Beschränkte ich den Kalkzusatz auf 0,1 gr/Ltr., so gingen 125 mgr/Ltr. Fe in Lösung, bei 1 gr/Ltr. $CaCO_3$: nur 71 mgr/Ltr. Fe. Den Einfluss der Elektrolyte sowohl auf die Lösungsfähigkeit des Eisenkarbonats, als auf seine Zersetzbarkeit haben Schmidt & Bunte eingehend studiert. Die Konzentration ihrer Versuchslösungen war auf 10 mgr/Ltr. Fe beschränkt. Weiteres unter IV, 11.

2. Eisenverteilung im Boden. Auf metallisches und gar pulverig fein verteiltes Eisen ist aber im Erdboden so wenig zu rechnen, als für gewöhnlich auf Sättigung mit Kohlensäure. Letztere trifft höchstens für Stahlsäuerlinge zu; dabei verhindern fremde Salze ein Anschwellen des Eisengehaltes. So reich der Untergrund im übrigen an Eisenverbindungen sein mag, so geringe Lösungskraft äussern die zirkulierenden Wässer auf dieselben im Vergleich mit den alkalischen und erdigen Stoffen, womit sie sich vorzugsweise beladen und die ihrerseits die übrigen Metalle nach dem Gesetz der Unverträglichkeit gleicher Jonen zurückdrängen. Sonst wäre ja auch kein Grund ersichtlich, weshalb in massigen Felsarten Eisenwässer so selten und in Trümmergesteinen so häufig sind. Nicht die Silikate sind es also. welche die Masse des gelösten Eisens

liefern, sondern die den Sanden verschiedenster Art auf's feinste beigemengten Eisenoxydpartikeln. Die Erdfarbe aller klastischen Bildungen sollte danach richtiger Eisenfarbe heissen. So innig und doch so ganz unabhängig vom Aufbau der Schichtkomplexe sind diese Einschlüsse darin verteilt, dass Spring[1]) solche Gesteine damit gepudert nennt.

Prinz[2]) teilt auszugsweise einige Untersuchungen Piefke's betr. den Berliner Untergrund mit, wonach der Eisengehalt in den dortigen Diluvialsanden selten über 1 % als Oxyd berechnet, und gewöhnlich nicht unter $^1/_2$ % geht. Das tatsächlich als Oxyd vorhandene wird dabei vorwaltend in den oberen Schichten gefunden und verschwindet in der Tiefe (d. i. bei 30—50 m) gänzlich. Will man nun nicht annehmen, dass die oberflächlichen Wässer, wenn schwer eisenbeladen, ausschliesslich von unten her gespeist werden, sondern gibt man wie natürlich zu, dass auch die verborgensten Wässer zuletzt aus der Atmosphäre stammen, so bleibt nichts übrig als auf jene unzweifelhaft einmal früher aus dem Wasser selbst abgeschiedenen Eisensteinkörnchen seine Aufmerksamkeit zu richten.

3. Löslichkeit von Eisenoxyd. Wie verhält sich Eisenoxyd nun zu den im Grundwasser wirksamen Agentien? zunächst der Kohlensäure gegenüber, und um gleich die weniger beachteten, aber wie leicht sich zeigen wird, weit wirksameren hervorzukehren, zu den unter dem leider recht unbestimmten Namen „organische Stoffe“ bekannten Begleitern aller Eisenwässer? Doppelt gefälltes und sorgfältiges gewaschenes Eisenoxyd gab an destilliertes Wasser im Kohlensäurestrom in 6 Tagen 0,75 mgr/Ltr. Fe ab, eine, wenn auch geringe, doch deutlich merkbare Menge; frisch ausgeschiedener Eisenniederschlag vom Fabrik-Hofbrunnen von Deseniss & Jacobi A.-G. unter denselben Verhältnissen 0,42 mgr/Ltr. Fe. Dieser Niederschlag enthält bei 150° getrocknet 21 % organische Substanz, meist Fadenalgen. Beim Stehen an offener Luft stieg in-

[1]) Über den eisenhaltigen Farbstoff der Sedimente (ref. in Naturw. Rundschau. 1898. S. 510).

[2]) Journ. f. Gasbel. XLV. 1902. S. 151.

dessen der Eisengehalt in den folgenden 20 Tagen im ersten Fall auf 1,70, im zweiten auf 1,22 mgr/Ltr. Fe. Derselbe gesammelte Niederschlag gab im Kohlensäurestrom an das durch wochenlanges Stehen bis auf 0,11 mgr/Ltr. von seinem Eisen befreite Wasser des genannten Hofbrunnens in 8 Tagen weitere 0,43 mgr ab, die sich in 40 Tagen auf 1,89 vermehrten, während reines Eisenoxyd unter gleicher Behandlung 0,22 bezw. 0,81 mgr/Ltr. Fe lieferte.

Daraus folgt, dass, soweit die Wirkung von Kohlensäure in Betracht kommt, das verbreitete Eisenoxyd keineswegs der vorhergängigen Reduktion bedarf, um vom Wasser aufgenommen zu werden. Auch in der noch klaren Bikarbonatlösung aus ferrum reductum und CO_2 hervorgegangen, gibt gelbes Blutlaugensalz übrigens eine blaue Färbung.

Anders gestaltet sich die Entwicklung, wenn statt der Kohlensäure ein mit organischen Produkten beladener Extrakt zur Verwendung kommt. Durch Auskochen einer Moorschicht beschaffte ich eine leicht getrübte, gelblich gefärbte Flüssigkeit, die eisenfrei in konzentriertem Zustande bis 3,276 gr/Ltr. NaCl und 0,066 gr/Ltr. gebundene Kohlensäure enthielt. Von Fe_2O_3 gingen damit in 8 Tagen 2,10 mgr/Ltr. Fe in Lösung, von ferrum reductum 83,3 mgr/Ltr. Das letztere Präparat trübte sich rasch an der Luft und hielt nach 2 Tagen nur noch 0,16 mgr, während das erste auch beim Schütteln und Verdünnen tagelang klar blieb. In der Tat löste dieselbe Torfbrühe auf 1,287 gr/Ltr NaCl verdünnt aus Fe_2O_3 gleichfalls 2,25 mgr/Ltr. Fe. Eine ähnliche Verdünnung (auf 1,404 gr/Ltr. NaCl) brachte in Berührung mit Fe_2O_3 innerhalb 4 Wochen den Eisengehalt sogar auf 4,08 mgr/Ltr. in verschlossener Flasche. Leitete ich dagegen gleichzeitig Kohlensäure zu, so stieg der Eisengehalt in 6 Tagen bei reinem Fe_2O_3 nur auf 1,42 mgr/Ltr. Fe, bei Hinzufügung von Eisenniederschlag aus dem Hofbrunnenwasser zwar auf 5,66; die erstere Zahl sank aber an freier Luft in 20 Tagen auf 0,39, die letztere auf 1,51. Übrigens greifen auch konzentrierte Salz-

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

lösungen Fe_2O_3 an. Gesättigte Soole löst z. B. bis 0,18 mgr Fe im Liter.

Daraus lässt sich einmal abnehmen, dass die Kohlensäure weit unbeständigere Bindungen für das Eisen schafft als die Torfbrühe; weiter aber auch, dass in dieser das Eisen in keine Konkurrenz mit anderen Basen tritt, sondern in Fermente oder Zymasen eintritt, die in dem Masse, als sie sich erneuern, eine weitere Eisenaufnahme gestatten.

4. Humussubstanzen. Man muss weit zurückgreifen um über die stickstofffreien, sogenannten Humussubstanzen[1]) etwas Bestimmtes zu erfahren. Als Berzelius in der Porlaquelle in Ostgothland eine eigentümliche Säure entdeckte die er Quellsäure nannte, gab er zwar den Anstoss zu emsiger Tätigkeit auf diesem Felde. Aber die Bauschanalysen, wie sie z. B. Hermann's Untersuchungen[2]) zu Grunde liegen, erweisen sich leider unzureichend, um tieferen Einblick zu gewähren. Neuerlich ist ein chemisches Vordringen auf diesem Gebiete kaum versucht. Vereinzelt steht eine Bemerkung aus dem Tageblatt der 49. Naturforscherversammlung 1877[3]) des Inhaltes: „Alle humus- und geïnsauren Salze wirken auf Mineralien lösend und zersetzend ein; namentlich vermag das quellsaure Ammoniak einzelne Salze unverändert aufzulösen und nach der Oxydation zu kohlensaurem Ammoniak auch wieder unverändert abzuscheiden. Stammt die Torfbrühe dagegen von gerbstoffhaltigen Pflanzen (z. B. von Heide), alsdann wirkt sie lösend und gleichzeitig desoxydierend." Ammoniumhumat zersetzt sich nach Nikitinsky[4]) sowohl bei Gegenwart von Luftsauerstoff als von Mikroorganismen des Bodens ziemlich energisch unter Bildung von CO_2.

Es liegt nahe, die Tätigkeit des unterirdischen Planktons für solche Wirkungen in's Feld zu führen, um so mehr, als dieselben ja ohnehin bei organischen

---

[1]) Vergl Weyl's Handbuch der Hygiene. I. Bd. S. 526.

[2]) Über den Moder (Journ. f. prakt. Chemie. XXII. 1841. S. 65). Über die Fäulnis des Holzes (ib XXVII. 1842. S. 165).

[3]) Dinglers polyt. Journal. CCIII. 1877. S. 648.

[4]) Über die Zersetzung der Huminsäure (Jahrb. f. wiss. Botanik. XXXVII. 1902. S. 365 ff.).

Zersetzungen dieser Art nie fehlen. Besonders in dem Absatz eisenhaltiger Grundwässer sind sie stets reichlich vorhanden. Wenn nun diese Lebewesen, um ihre Atmung zu decken, bei Abschluss von Luft und Licht reduzierende Wirkungen auf mineralische Substanzen ausüben, so muss unter sonst gleichen Verhältnissen das Eisen, sei es durch Fermentanstoss oder säureartige Bindung, um so leichter in Lösung gehen, je ausgiebiger durch Bakterien die unlösliche höhere Oxydationsform in das stark basische Oxydul verwandelt war.

Zum Versuch diente in destillirtem Wasser

a. ein Gemisch von Fe_2O_3, Eisenschlamm und Gummi-arabicum
b. von reinem Fe_2O_3 und Zucker
c. reines Fe_2O_3 allein zur Controlle.

Weder beim längeren Stehen noch beim Kochen ging eine Spur Eisen in Lösung. Nur das Glas mit Gummi zeigte bis 0,01 mgr/Ltr Fe. Bei 3 Tage hindurch fortgesetztem Einleiten von Wasserstoff dagegen fand sich in

a. 0,39 mgr/Ltr Fe
b. 0,04
c. geringe Spur

Destilliertes Wasser allein wies beim Impfen mit Eisenschlamm nach mehreren Tagen nur 0,08 mgr/Ltr Fe auf, die Zuckerlösung dagegen stieg auch in 8 Tagen nicht über 0,04 mgr/Ltr Fe, so dass aus dieser Versuchsanordnung sich nicht abnehmen lässt, inwieweit eine solche Impfung bei Ausschluss von Luftsauerstoff das Oxyd in Lösung überzuführen vermag. Eine Kohlensäureatmosphäre als neutrale Hülle war ausgeschlossen, nachdem erwiesen, dass diese für sich allein Eisenoxyd angreift.

5. Das Eisen im Organismus. Bleibt nach dieser rein experimentellen Seite die Frage offen, so ist es doch leicht ihrer Lösung durch die Erwägung näherzukommen, dass der Organismus, der pflanzliche ebensowohl wie der thierische, das Eisen zu seinem Aufbau nicht entbehren kann.

Bekanntlich wurde der erste Anlauf, eisenhaltiges Grundwasser zu benutzen durch das massenhafte Auftreten bestimmter siderophiler Algen vereitelt. Besonders

sind es Crenothrix und Cladothrix, welche eine Verstopfung der Leitungen herbeiführen[1]). Die Beziehungen derselben zum Sauerstoff in und ausserhalb von Eisenverbindungen sind noch durchaus ungeklärt. Ohne Zweifel können diese und andere niedere Pflanzen Eisenoxyd auf sich abscheiden, wenn auch nur passiv, nicht durch ihre Lebenstätigkeit, wie Cohn und Hanstein vermeinten. Ähnliches liegt bei den Eisenflechten vor. Jüngst hat Adler[2]) durch Zusatz von Eisenammoncitrat ein gesteigertes Wachstum von Leptothrix und Cladothrix herbeigeführt. Was hier interessiert. ist die Unentbehrlichkeit des Eisens zum Aufbau der Zelle, wodurch der Organismus gezwungen ist, dasselbe aus mineralisierten in physiologische Formen umzusetzen und beim Tode wieder z. T. unlöslich abzustossen, jedenfalls aber der Umgebung fortgesetzt zu entziehen. Daraus folgt, dass je mehr Leben im Wasser bei behindertem Luftzutritt sich abspielt, um so mehr Eisenoxyd verbraucht wird.

Eisen findet sich im Chylus, Lymphe, Magensaft, vor allem aber im Blute so reichlich, dass die Blutasche zwischen 3,9 und 12,7 Prozent davon enthält. Hoffte doch Menghini[3]), dass man aus dem Eisen des Blutes Nägel, Schwerter und andere Instrumente schmieden werde, und Deyeux und Parmentier verstiegen sich zu dem Vorschlag, aus dem Blute berühmter Männer Denkmünzen zu schlagen. „Das Hämatoin wird aus Hämoglobin oder Hämatin durch Behandlung mit Säuren erhalten. Wird die saure Lösung mit Alkali übersättigt, so nimmt der Farbstoff wieder Eisen auf, und das Hämatin wird reconstituiert“[4]).

Für die Pflanzenwelt war die Unentbehrlichkeit des Eisens nicht ganz so leicht aufzuzeigen[5]). Lino-

---

[1]) W. Zopf, Entwicklungsgeschichtliche Untersuchungen über Crenothrix polyspora, Zur Morphologie der Spaltpilze usw.

[2]) Zeitschrift f. d. Unters. d. Nahr. u. Genussm. 1904. S. 361.

[3]) Nach Gorup-Besanez, Lehrbuch der physiologischen Chemie. 4. Aufl. S. 107.

[4]) Wundt, Physiologie.

[5]) Vergl. Molisch, Die Pflanze in ihren Beziehungen zum Eisen. Jena 1892.

ssier[1]) machte auf seine Notwendigkeit zur Sporenbildung des Aspergillus aufmerksam. Der rote Farbstoff der Palmella cruenta, der dunkelblaue der Weintrauben wurden auf organische Eisensalze zurückgeführt. Es ist überhaupt schwer, Eisen in irgend einem Pflanzenteil nicht zu finden. Aber erst jüngst zieht Stoklasa[2]) aus seinen Untersuchungen den Schluss, „dass das Eisen so gut wie der Phosphor einen integrierenden Teil des Zellkerns ausmacht". Und da die Eiweisbildung der Vegetabilien auch im Dunkeln vor sich geht[3]), kann die Abspaltung des Eisens aus dem eingesprengten Eisenoxyd des Bodens durch Vermittelung lebender Organismen keinem Zweifel mehr unterliegen. Für Mangan scheint ein ähnlicher Zusammenhang mit bestimmten Organismen zu bestehen.[4])

6. Eisen aus Moorgrund. Es erübrigt das Vorstehende in die Folgerung zu verdichten, dass, wenn anders keine zwingenden Gründe vorliegen den Eisengehalt des Grundwassers mit Hülfe von Kohlensäure zu Stande zu bringen, der Lebensprozess der in solchem Wasser im Gegensatz zu Gebirgsquellwasser nie fehlenden pflanzlichen Organismen ausreicht, um das, in den Bodenschichten angetroffene Eisenoxyd je nach Bedürfnis in Lösung zu bringen, bei Zutritt von Sauerstoff wieder abzuscheiden und dasselbe Spiel mehrfach zu wiederholen oder auch in der Erdrinde deutliche Spuren dieses Wechsels in Form von Oker und Rasenerz zu hinterlassen. Daher das Ammoniak als stetiger Begleiter solcher Wässer, daher auch der Schwefelgeruch, der vermutlich einer Zersetzung der in fauligen Massen häufigen Leberkiesknollen entstammt. Für gewöhnlich dürften die Enzyme als „Katalysatoren, welche im Organismus während des Lebens der Zelle entstehen"[5]), die

[1]) Sur une hématine végétale, l'aspergilline (Comptes rendus CXII. 1891. S. 489).

[2]) Physiologische Funktion des Eisens im Organismus der Pflanze (Comptes rendus CXXVII. 1898. S. 282 ref. Nat. Rundschau. 1898. S. 645.).

[3]) Vergl. Godlewski, ref. Naturw. Rundschau. 1903. S. 588.

[4]) Nach D. D. Jackson, Journ. of the Soc. of chem. Ind. 1902. S. 681.

[5]) Ostwald, Über Katalyse (Vortrag auf der Naturf.-Vers. 1901).

betreffenden Kräfte aufbringen, und so das Eisen grossenteils, wenn nicht ausschliesslich in lockerer organischer Bindung vorliegen. Nicht immer kann dieses Verhältnis so durchsichtig sein wie im Gebiete des Grundwasserstroms des Strehlaer Wasserwerks, wo nach Beyer[1]) Moor, Braunkohle und bituminöse Tone in der Talwanne an eben den Stellen sich anhäufen, wo die Brunnen auch die höchsten Eisengehalte zeigen. Die enorme Lösekraft, welche Huminsubstanzen, um diesen vagen Ausdruck mangels einer besseren Bezeichnung hier im allgemeinsten Sinne zu verwenden, für Eisen besitzen, geht auch aus Dunbar's[2]) Beobachtung hervor, dass er mitunter Grundwasser mit mehreren Milligramm Eisen im Liter begegnet sei, das auch in Wochen sich nicht ausschied. Sehr lehrreich sind in dieser Hinsicht die Erfahrungen, welche Schlicht[3]) an Reinwasserfiltern in Stralsund gemacht hat. Es hängt danach nur von der Ernährungsart der Mikroorganismen ab, ob der Eisengehalt im Filter vermindert oder vermehrt wird.

Es ist bezeichnend, dass die Ansicht, dass Moorwasser die wichtigste Bildungsstätte für Eisenwässer abgeben und die Bindung wesentlich an organische Stoffe zu denken ist, von Süddeutschland zuerst ausging[4]), während doch als die eigentliche Heimat dieser Wässer die norddeutsche Tiefebene gilt. Eben da sind Moorbildungen bis tief in das älteste Tertiär hinab vorherrschend. Eisenwässer fehlen aber ebensowenig im badischen oder bairischen Gebirge oder in Skandinavien, in Schottland, Spanien, England, Russland, den Karpatenländern, in Kleinasien, Sibirien, der nordamerikanischen Seeenplatte und wo immer unabhängig von der geologischen Formation Fäulnisprozesse bei Luftabschluss im Wasser sich vollziehen. Am gesättigsten sind meistens oberflächlich entspringende Wasser, wohl allein aus dem

[1]) Das neue Wasserwerk der Stadt Bautzen (Zeitschr. f. prakt. Geologie. 1901. S. 121.).

[2]) Zeitschrift für Hygiene. 1896. S. 105.

[3]) Bericht des chem.-hyg. Untersuchungsamtes der Stadt Stralsund. 1894—1899.

[4]) E. von Raumer in Zeitschr. f. analyt. Chemie. XLII. 1903. S. 590.

Grunde, weil tiefer aufsteigende nur zu leicht Gelegenheit haben, auf ihrem Wege sich des eingetauschten Eisens wieder zu entledigen. Es fehlt aber auch nicht in Tiefen bis zu Hunderten von Metern. In einem näher von mir beobachteten Falle, in dem die gleiche sandige Schicht von 40 bis 140 Metern reichte, mass der Eisengehalt unten sogar 3,5, oben nur 2,1 mgr/Ltr Eisen, während mit der Tiefe auch der Kalkgehalt sichtlich anwuchs. Auffallend und vielleicht für die leichte Rück- und Umbildung bezeichnend ist der Umstand, dass es zwar viele Wässer mit über 30 mgr/Ltr Eisen gibt, aber sehr wenige mit 11—20 mgr.

Es bedarf sonach nicht der Hypothese einer vorweltlichen Lateritbildung[1]) in Skandinavien als Voraussetzung für den Eisengehalt der diluvialen Sande Norddeutschlands, die Bedingungen dazu sind sehr allgemein verbreitet. Alle seitherigen Beobachtungen aber münden dahin aus, dass nur eine torf- oder moorartige d. h. zum guten Teil anaerobe Vegetation das vorhandene Eisen in Lösung bringen und erhalten kann. Die braunen Gräben unserer Hoch- oder Niedermoore reden eine beredte Sprache in dieser Hinsicht.

Den gewichtigsten Einwand gegen die Kohlensäure als Trägerin dieser Aufgabe gibt einerseits deren Mangel oder doch gänzlich unzulängliches Auftreten an die Hand: andererseits die von den verschiedensten Forschern festgestellte Tatsache, dass der Eisengehalt eines und desselben Wassers sehr bedeutenden Schwankungen unterworfen ist, das Eisen sich auch an der Atmosphäre ausscheidet, ohne dass in den Belegzahlen für gebundene Kohlensäure der geringste Unterschied wahrzunehmen wäre. Es leuchtet aber ein, dass, wenn die Base entfällt, die Säure frei werden muss. Gerade für den gebundenen Teil derselben besitzt die Alkalimetrie im Methylorange einen äusserst scharfen Indikator, der einen solchen Wechsel bei irgend nennenswerten Eisenmengen nicht zu übersehen erlaubt. Ich habe den Fall bei den mir zugänglichen Wässern wiederholt auf's sorg-

[1]) Haas, Ausland. 1893. Nr. 11. Quellenkunde. 1895. Seite 180.

fältigste nachgeprüft und stets die gleiche Alkalität vor wie nachher erhalten[1]).

III. Behandlung von Eisenwässern.

1. Absitzenlassen. Der einfachste Weg die Eisenplage abzuwenden ist offenbar die Trübe vor dem Gebrauch absitzen zu lassen: das Überstehende ist dann für alle Zwecke einwandfrei. Praktisch stellt sich dem aber ein unübersteigliches Hindernis entgegen: die Zeit, welche diese Umwandlung erfordert und welche bei allen seither vorgeschlagenen Methoden mit Ausnahme der auf Wechselzersetzung durch chemische Zusätze beruhenden, nicht auszuschalten gelang. Nun ist die Zeit ein von Tag zu Tag höher bewertetes Gut; der Grossbetrieb muss mehr noch damit rechnen als die Hauswirtschaft. Gleichwohl haben die Enteisenungsanlagen zur Städte- und Fabrikversorgung bereits eine bedeutende Entwicklung angenommen, während man für Hand- und Hofpumpen noch immer die richtige Hülfe vermisst. Genau betrachtet ist der Fortschritt gering verglichen mit der ältesten bekannten Klärvorrichtung (vom Jahre 1882) der Stadt Glogau, welche der Stadtbaurat Wingen 1887 beschrieben.[2]) Dort entledigt sich das über Wehre und Cascaden offen zufliessende Wasser auf seinem Wege grossenteils des Eisengehaltes und gelangt nach sorglicher Filtration ohne Beschwerde zur Verwendung. Unsere Einsicht in die begleitenden Vorgänge ist allerdings wesentlich gewachsen, seit Oesten 1890 den Anstoss gab, systematisch dem Einfluss des Luftsauerstoffs nachzugehen.

Als unter dem Drang der Entwicklung von Biologie und Bakterienkunde die Oberflächenwässer, die früher nach englischem Vorbild im Grossen zur Versorgung herangezogen wurden, verdächtig erschienen, griff man auf das Grundwasser zurück, das auf dem Lande und im Privatgebrauch ja stets diesem Zweck diente. Die misslichen Erfahrungen, welche anfangs das massenhafte

[1]) Vergl. Dunbar, Zeitschr. f. Hygiene. 1896. S. 69 u. 110.
[2]) Grahn, Zur Geschichte der Grundwasserenteisenung (Journ. f. Gasbel. XL. 1897 S. 356).

Auftreten verschiedener Fadenalgen verursachte, sind von dem Augenblick an als überwunden zu betrachten, als man erkannte, dass mit dem unbequemen Eisen auch diese Wucherungen zu beseitigen waren. Besonders Berlin war der Schauplatz eifriger Nachforschungen auf diesem Gebiet und häufigen Systemwechsels, obwohl schon vorher Salbach, Thiem, Fischer im selben Sinne anderwärts erfolgreich sich bewiesen.

2. Belüftung. Um das frische klare Wasser in möglichst innige Berührung mit atmosphärischem Sauerstoff zu bringen, lässt es Oesten[1]) auf einer Brause verteilt eine bestimmte Höhe herabträufeln. Zehn Jahre später[2]) referiert er über bewährte Einrichtungen dieser Art in Freienwalde, Stade, Gumbinnen, Insterburg, Mittweida. Von dem Gedanken ausgehend, dass der Sauerstoff sich beim Lösen seiner Umgebung mitteilt, verlegt er die Oxydation für periodische Entnahme in den Untergrund selbst, indem er belüftetes Wasser in den Brunnen einführt.[3]) So in der städtischen Volksbadeanstalt zu Moabit. Ähnlich sein Handenteisenungsapparat[4]).

Piefke[5]) unterstützt die Sauerstoffaufnahme durch das Rieseln über Coke oder Steine in seinem Lüfter. Die Berührung lässt sich dabei einigermassen regeln; der Grad der Reinigung schwankt gleichwohl nach dem Eisengehalt des Rohwassers bezw. dessen Willigkeit in die Oxydform überzugehen. Nach diesem Muster sind die meisten Enteisenungswerke ausgeführt[6]). Jedesmal muss dann das Wasser noch filtriert werden. Man könnte sich vorstellen, dass im Regenfall oder Coketurm das Eisen zunächst aus dem aufgelösten Zustand in den kolloidalen verwandelt und bei der Berührung mit dem Filtersand erst krystallinisch sich ausscheide, um wie ein

[1]) Ausscheidung des Eisens aus eisenhaltigem Grundwasser (Z. d. V. d. J. 1890 S. 1343) mit Proskauer in Zeitschr. f. Hygiene 1890 S. 148.

[2]) Die Enteisenung des Grundwassers (Zeitschr. d. Vereins d. Ingenieure 1900 S. 976).

[3]) D. R. Patent Nr. 125395.

[4]) D. R. Patent Nr. 115518.

[5]) Journal f. Gasbel. XXXIV. 1891. S. 61.

[6]) S. Prinz, Journal f. Gasbel. XLV. 1902. S. 149.

beliebig anderer Niederschlag in den Porenräumen, besonders den dem Eintritt benachbarten aufgefangen zu werden. Piefke selbst erklärt als notwendig, dass der Eisenschlamm „der Hauptmasse nach an der Oberfläche des Sandes sich ansammelt. Die beim Reinigen wahrgenommenen Spuren davon verloren sich in 2—3 cm Tiefe.“ Das beweist, dass der Unterbau des Filters für den Ansatz des Schlammes entbehrlich ist. Aber er notiert zugleich Zahlen, wonach der weitaus grösste Teil des Eisens im Coke selbst haften bleibt.

Eisengehalte am Brunnen	mgr/Ltr	FeO	2,17	1,82	2,88 2,94
„ am Ausfluss des Lüfters	„		0,26	0,30	0,60 0,50
„ „ „ „ Filters	„		0,10	0,15	0,20 0,15

Rosenboom[1]) empflehlt für schwer oxydierbare Wässer die Zwischenschaltung eines Absitzbehälters, und erhielt für Kieler Grundwasser:

roh	3,87	mgr/Ltr	FeO
belüftet	1,48	„	„
abgesetzt	0,65	„	„
filtriert	0,13	„	„

3. Filtration. Behutsames, langsames Filtrieren war von der Reinigung des Flusswassers her ja zur Regel geworden, obwohl Fränkel und Piefke[2]) nachgegewiesen hatten, dass ein wirklich keimdichtes Filter sich doch nicht herrichten lässt. Dunbar und Orth[3]) erprobten für ein bestimmtes Wasser eine Steigerung der Filtriergeschwindigkeit bis zu 15 m/Stde bei 0,35 m/m Korngrösse. Thiem[4]) nahm 4—10 mm starken Kies in sehr hoher Schicht. Auch die Beobachtung von Dunbar und Kryck[5]), dass der Sand, je mehr er sich mit Eisenoker überzieht, um so wirksamer sich zeigt (durch Sauerstoffadsorption) liess sich nicht als Grundlage zur technischen Weiterentwicklung verwerten. Die Wirkung blieb in jedem einzelnen Fall ungleich. Das Schaffen

---

[1]) Über die Verwendung eisenhaltigen Grundwassers zur Wasserversorgung (Journ. f. Gasbel. XXXVI. 1898. S. 241.).
[2]) Zeitschr. f. Hygiene. 1890. S. 1.
[3]) Versuche zur Enteisenung von Brunnenwasser (Journal für Gasbel. XXXXI. 1898. S. 285.).
[4]) Cit. König, Die Verunreinigung der Gewässer. I. S. 200.
[5]) Journ. f. Gasbel. XXXXI. 1898. S. 528.

eines abwechselnd von Luft und Wasser eingenommenen Raumes wie im Dunbar'schen Tauchfilter[1]) behindert die freie Verwendung. Auch wird die Reinigung dadurch sehr erschwert, ebenso wie in der von Kurth[2]) und Bieske[3]) angegebenen Vereinigung von Belüftung und Filtration beim selben Pumpenhub.

Diesen Punkt, die leichte Reinigung, hat Kröhnke's Filterpatent[4]) mit einigem Aufwand aber glücklich gelöst. Das von Deseniss konstruierte sogenannte Pressfilter[5]) leidet dagegen an dem Mangel, sich leicht zu verklemmen. Das Filtrieren von unten nach oben ist ausserdem unausgiebig und auch nirgends im Gebrauch.

Einer eigentlichen Berechnung sind alle diese Einrichtungen nicht zugänglich. Die Autoren, welche ihnen nähere Aufmerksamkeit geschenkt, begnügen sich mit der Feststellung, dass das erreichbare Filtrat dauernd klar bleibt und zu Anständen keinen Anlass gibt. Ein Resultat, das natürlich mit den jedesmaligen Umständen steht und fällt.

4. Zusatz von Fällmitteln. Anders verhält es sich mit den rein chemischen Mitteln, also solchen, welche das Eisen direkt niederschlagen. Ihr Mengenverhältnis kann natürlich immer so gewählt werden, dass die Reaktion glatt und vollständig verläuft. Kröhnke[6]) hat Eisenchlorid und Kalk mit bestem Erfolg angewandt, Steckel und Lübbert[7]) Kalk allein vorgeschlagen. Das Missliche, überhaupt fremde Körper in das Wasser einzuführen zusammen mit der Unabweisbarkeit einer genauen Dosierung, verbietet solche Zusätze in den weitaus meisten Fällen.

Mit Recht macht Dunbar[8]) geltend, dass allen bekannten Methoden vom hygienischen Standpunkt aus eine solche vorzuziehen wäre, die erlaubte, das aufgepumpte Wasser ohne irgend welche Manipulationen

---

1) L. c.
2) Ber. üb. d. Vers. d. deutsch. Ver. f. öff. Ges. Kiel 1896. S. 42.
3) Geissler, Wasser- u. Gasanlagen, Hannover. 1902. S. 42.
4) D. R. Patent Nr. 83542.
5) Zeitschr. f. Hygiene. XXII. 1896. S. 117.
6) Bei Dunbar l. c.
7) Ebenda.
8) Zeitschr. f. Hygiene. XXII. 1886. S. 130.

direkt aus einem fest mit der Pumpe verbundenen Filter zu entnehmen. Dem sei hinzugefügt: nur wenn es gelänge, im Druckstrom selbst ohne Behälter und sonstige Unterbrechung vorzugehen, könnte die Enteisenung zum Gemeingut aller werden. Wie das möglich ist, soll im IV. Abschnitt gezeigt werden.

Zu erwähnen wären hier noch die Verfahren von Helm[1]) und von der Linde-Hess. Das erstere will mit natürlichem Eisenstein ohne Zufuhr von Luft die Enteisenung zu Stande bringen. Schmidt und Bunte[2]) haben indessen darauf verwiesen, dass das verwandte Material beträchtliche Mengen Luft okkultiert. Auch ist bei der einzigen versuchten Anlage die Zuleitung des Rohwassers reichlich lang und vor Luft keineswegs geschützt. Nach von der Linde und Dr. C. Hess[3]) soll ein Filter aus harzfreien mit Zinnoxyd getränkten Kiefernspänen bei gänzlichem Ausschluss von Luft das Eisen abscheiden. O. Kröhnke[4]) äusserte darüber seine Zweifel mit der Begründung, dass eine Sauerstoffaufnahme bereits vorher stattgefunden haben müsse. In der Tat handelt es sich in München-Gladbach, wo die Anlage im Gange ist, um eine 472 lange Leitung, die in einen Sammelbrunnen mündet. Schindowski[5]) erbrachte die experimentelle Bestätigung, dass ein solches Filter, so lange es mit dem sauerstofffreien Wasser des artesischen Brunnens am hiesigen Anckelmannsplatz beschickt wurde, alles Eisen durchliess. Nur wenn das Filter Wasser empfing, welches vorher in einer offenen Tonne Gelegenheit hatte Sauerstoff aus der Luft aufzunehmen, hielt es das Eisen gut zurück. Irgend bedeutenden Eisengehalten sind solche Filter natürlich nicht gewachsen.

5. Kohlefilter. Es gibt noch einen weiteren Weg, das aufgelöste Eisen rasch und sicher zu be-

---

[1]) Journ. f. Gasbel. XLIV. 1901. S. 677 u. 886. D. R. P. Nr. 142929.

[2]) L. c.

[3]) Vergl. Wasser- und Wegebau. 1903. S. 164.

[4]) Journal f. Gasbel. XLII. 1899. S. 350.

[5]) Ein Beitrag zur Frage der Enteisenung eisenhaltigen Brunnenwassers. Dissertation. Leipzig 1900. S. 24.

seitigen: nämlich durch Adsorption. Weppen[1]) machte bereits 1846 darauf aufmerksam, das Ferrosulfat und Ferriacetat auf 1 Gran in $^1/_2$ Unze Wasser gelöst 30 Gran feine Kohle zur Fällung erforderten, derart, dass die Kohle alles Eisen zurückhielt. Dass tierische Kohle auch natürlichen Eisenwässern energisch dieses Metall entzieht, hat Krüger[2]) hervorgekehrt und Dunbar[3]) bestätigt. Diese gewiss überraschende Erscheinung durch eine Umsetzung mit den Kalksalzen erklären zu wollen, welche sich durch Säure aus der Knochenkohle nicht vollständig ausziehen lassen, weist Weppen bereits zurück. Es handelt sich um eine der vielen Oberflächenanziehungen, denen auch sonst im Mineralreich eine bedeutende, wenngleich noch wenig gewürdigte Rolle zukommt.[4]) Deshalb lässt sich die Kohle, auch wenn sie sich vollgesogen und so unwirksam geworden, leicht wieder beleben und beliebig oft wieder gebrauchen. Trotzdem bleibt dies der wunde Punkt, weil die Leistung bald abnimmt, und das Auswechseln beschwerlich fällt.

Es scheint, als ob im Boden selbst der gleiche Vorgang öfters sich vollzöge. Auffallen muss es jedenfalls, dass in feinen Tonlagen, besonders in solchen bituminöser Natur, der Eisengehalt des Wassers bis zur völligen Erschöpfung herabsinkt, während die umgebenden Sande hohe Eisenzahlen behalten. Nicht allein, dass der Austausch zwischen beiden Bodenarten ungetrennt erfolgt, es müsste auch das Wasser, eben weil es im feinen Ton seinen Strom verlangsamt, eher mehr Eisen dabei aufnehmen, wenn es solches nicht umgekehrt an die Wandungen abgibt. Stoff, Rauhigkeit und Form der Flächen dürften dabei massgebend sein.

---

[1]) Über die Wirkung der Kohle auf Metallsalze (Liebigs Ann. d. Chem. LIX. 1846. S. 354.). Über die Präzipitation verschiedener organischer und unorganischer Stoffe durch tier. Kohle (ib. LXV. S. 241.).

[2]) Die Filter f. Haus u. Gewerbe. Wien 1886. S. 111.

[3]) L. c.

[4]) Vergl. Kohler, Adsorptionsprozesse als Faktoren der Lagerstättenbildung (Zeitschr. f. prakt. Geologie. 1903. S. 49.).

Ähnlich fand Biega[1]) Eisengehalt und Härte resp. Abdampfrückstand im umgekehrten Verhältnis d. h. eine Steigerung der Auslaugung führte keineswegs zu einer Vermehrung sondern Verminderung der Eisenzahl. Nähere Untersuchungen experimenteller Natur können allein mehr Licht hierüber sowie über die oft plötzlichen Veränderungen im Eisengehalt natürlicher Wässer verbreiten.

6. Der Niederschlag. Bei der Wechselbeziehung, welcher zwischen dem ausgeschiedenen Eisen und dem gelöst verbleibenden herrscht, verdient der Niederschlag eine besondere Betrachtung. Das störende Eisen auszusondern bildet überhaupt nur einen Teil des Problems, der andere nicht weniger wichtige lautet: wie das Abgeschiedene bei Seite bringen, ohne dass es den Verlauf stört und überhaupt lästig wird. Zu dem Ende ist es notwendig, den Niederschlag selbst näher kennen zu lernen.

Von demselben Wasser, welches vorzugsweise zu den Versuchen des nächsten Abschnittes diente, sammelte ich durch mehrtägiges Absitzenlassen in Glasgefässen eine Menge, deren Gewicht bei 100° getrocknet 0,695 gr betrug. Die Hälfte davon gab einen Glühverlust von 27,1 %, davon Wasser 6,2 %, das bei 150° entwich, beim Erkalten aber wieder aufgenommen wurde. Das spezifische Gewicht der bei 100° getrockneten Substanz betrug 2,4. Nach Behandlung mit Säure verblieb ein weisser, körniger Rest von 3,3 %. Die Zusammenstellung des Ganzen führt auf

61,2 %	Eisenoxyd
8,5 %	Calciumkarbonat
3,3 %	Unlösliches (Kieselsäure etc.)
20,9 %	Organische Substanz
6,2 %	Wasser
100,1	

Der Eisengehalt entspricht rund 42 % Fe, der Wassergehalt dem Monohydrat der gelben Reihe Tommasi's. In einer geringeren Substanzmenge, aufgefangen

---

[1]) Mitteilungen über die hydrol. Unters. des oberen Pegnitztales bei Oberbürg (Journ. f. Gasbel. XLVII. 1904. S. 116.).

in einem Filter von Glasperlen, fand ich Eisen, Unlösliches und Kalk im selben Verhältnis.

Unter dem Mikroskop stellte sich die organische Substanz als ein Gewirr farbloser feiner Fäden dar, die korkzieherartig gekrümmt, häufig gegabelt, wellige Einschnürungen trugen, von nahezu 0,001 mm Dicke: wahrscheinlich Leptothrix. Dabei eben so dicke kurze Stäbchen, aber weder Körnchen noch grüne Algen. Dieses Wasser war zur Winterszeit geschöpft. Ein anderes Mal begegnete ich im Herbst vielen winzigen Körnchen und grünen Palmellen. Daneben eckige krystallinische Aggregate von Eisenhydrat frei oder in einer gallertigen Grundmasse. Der Absatz von sehr eisenreichem Wasser anderer Herkunft zeigte keinerlei Organismen, sondern nur tannenzweigartig gruppiertes Eisenhydrat.

Proskauer beobachtete nach der Eisenabscheidung eine Verminderung der Oxydierbarkeit. Der Unterschied war auch im vorliegenden Fall deutlich, aber gering. Bei einem Eisengehalt des Rohwassers von 4,70 mgr/Ltr. Fe fand ich z. B. die Sauerstoffzehrung zu 0,0050, im Filtrat mit 0,68 mgr/Ltr. Fe dagegen nur 0,0042. Bei einer 12 Tage hindurch täglich vorgenommenen Beobachtungsreihe ergab sich zu Anfang bei 5,35 mgr/Ltr. Fe eine Sauerstoffzehrung von 0,0042, die vorübergehend nach 4 Tagen auf 0,0062 stieg, nach 8 Tagen auf 0,0028 sank, aber schliesslich zu 0,0042 zurückkehrte. Dabei war der Eisengehalt zuletzt 0,11 mgr/Ltr. Beim Kochen erhob sich dieser Wert regelmässig auf 0,0061; gemeint ist die nach Kubel-Tiemann durch Chamäleon festgestellte Zahl. Man kann ihr eben nur die Bedeutung eines Indikators beimessen, in keinem Falle aber im Sinne Wood's organische Verbindungen danach in Vergleich stellen.

IV. Neue Versuche.

Die im Folgenden wiedergegebenen Versuche haben zum Zweck, statt der gebräuchlichen zufälligen Belüftung die Wirkung gemessener Mengen von Luft und Wasser auf den Eisengehalt klarzustellen. Hervor-

gegangen sind diese Bemühungen aus dem Wunsche, der Umständlichkeit und Langwierigkeit der seitherigen Oxydation zu entgehen. Über die ersten Schritte nach dieser Richtung ist gelegentlich schon berichtet worden[1]). Im Zusammenhang wird erst hier eine eingehende Begründung des Verfahrens, wie es Deseniss & Jacobi in die Praxis eingebürgert haben, gegeben.

Da alles dabei von der Eisenbestimmung abhängt und so geringe Mengen davon, wie sie oft vorliegen, nicht leicht sicher und analytisch einwurfsfrei nachzuweisen sind, mag die Methode, nach welcher ich verfuhr und der natürlich auch die weiter oben an geführten Zahlen entstammen, an erster Stelle behandelt werden.

1. Methode der Eisenbestimmung. Ein so ausgeprägtes, fixes Element wie das Eisen bis auf die kleinsten Spuren genau zu bestimmen, gibt es nur einen vorgezeichneten Weg, nämlich dasselbe womöglich durch Abdampfen grösserer Posten in Platinschalen für sich zu gewinnen und nach einer der bekannten Methoden zu titriren. Zu diesem Schluss kommt auch E. von Raumer[2]), der darum alle die direkt im Wasser vorgenommen Dosierungen des Eisens als unzuverlässig und bei der wechselnden, meist unbekannten Natur seiner Begleiter als unvergleichbar verwirft. Gleichwohl ist die Forderung nicht streng durchführbar, weil die Operationen unter Umständen zu zeitraubend sind, um überhaupt eine längere Reihe durchzusetzen. Es muss also schon verstattet sein, wenigstens für gleiche oder der Zusammensetzung nach ähnliche Wässer vereinfachte Verfahren zu benutzen, wie solche in den kolorimetrischen Methoden vorliegen. Sie geben dann, wenn auch selten absolut richtige, doch angenäherte und mit auf gleiche Weise gewonnenen verwandte Werte.

Dahin gehört die Färbung mit Rhodanammonium, die Jolles[3]) 1888 speziell für Wasseruntersuchungen empfohlen. Von dem unbequemen Ausschütteln mit

[1]) Eisenausscheidung in der Handpumpe („Das Wasser" 1903 Heft 23).

[2]) Zeitschrift f. analytische Chemie. XXXXII. S. 590.

[3]) Archiv f. Hygiene. VIII. S. 402.

Äther kann man danach ganz absehen. Es besteht nur die Gefahr, dass fremde Stoffe ähnliche Färbungen hervorrufen könnten. Das gilt von salpetriger Säure, die sich mit Jodzinkstärke sowohl als Metaphenylendiamin ähnlich verhält wie Eisenoxyd[1]), besonders aber auch Rhodansalzen gegenüber. Zwar findet sich die Angabe, dass letztere Färbung auf Zusatz von Alkohol sofort verschwinde[2]); ich konnte das aber nicht bewahrheitet finden. Da nun der Gebrauch von Salpeter und Salzsäure (letztere soll die Farbenreaktion begünstigen[3]) für Jolles' Verfahren unerlässlich ist und das dabei entstehende Nitrosylchlorür mit Wasser salpetrige Säure entwickelt, hängt es ohne Erwärmen nur von der Konzentration ab, ob eine falsche Färbung eintritt. Die Grenzen darauf begründeter Rezepte sind immer enger, als anfänglich vermutet. Nimium ne crede colori.

Indessen zeigte sich bei den von mir untersuchten Wässern keine Einwirkung, gleichgültig ob ich 1 oder 10 ccm einer $^5/_1$ normalen Salpetersäure zu 100 ccm des mit Salzsäure angesäuerten Wassers setzte. Ein starker Säurezusatz erwies sich aber für den Eintritt und die dauernde Intensität der Färbung mit Rhodanammonium günstig. Wie Proskauer und Schmidt und Bunte, fand ich es unerlässlich, eine oder mehr Minuten zum Kochen zu erhitzen, weil ohne dieses die Rötung gar nicht oder unvollkommen eintrat. Ich konnte in der Kälte sogar unbedenklich mit Rohwasser auffüllen, ohne dass dieses an der Reaktion teilnahm. Der Titer der Eisenoxydammonikalaunlösung mit 0,05 mgr Fe im ccm hielt sich dagegen Monate lang unverändert. Selten griff ich zu mehr als 4 ccm davon auf je 100 ccm mit destilliertem Wasser verdünnt, gern zu 3 und oft nur zu 1 ccm. Selbst mit $^1/_2$ ccm fand ich die Farbenunterschiede leicht im Hehner'schen Cylinder unterscheidbar. Meist zog ich es vor bei nahezu gänzlich enteisenten Wässern bis zur Grenze der Deutlichkeit zu gehen, statt durch Eindampfen oder längeres Kochen einen gelben Ton darin

[1]) Vergl. Tiemann-Gärtner, Untersuchung etc. 4. Aufl. S. 211.
[2]) Muspratt, Theoret. prakt. u. analyt. Chemie. 4. Auflage. II. S. 1621.
Zeitschrift f. analyt. Chemie. XXII. S. 44.

hervorzurufen, der die rote Nuance verdunkelt. In der Regel nahm ich 250 ccm auf einmal in Behandlung und brachte davon soviel in den Messcylinder als eben passend erschien. Wenn zwei Proben nicht auf $^1/_{10}$ Milligramm übereinstimmten, nahm ich eine dritte abgemessene Menge zu Hülfe. Die Vergleichsflüssigkeit hielt sich mehrere Stunden unverändert, verblasste aber stets schneller als das natürliche Eisenwasser.

Für eine längere Reihe von Beobachtungen erprobte ich als praktisch die beiden Hehner'schen Cylinder, wie nebenan abgebildet (Fig. 1) ohne Fuss auf einen kleinen drehbaren Tisch zu setzen und am oberen Ende durch eine federnde Klemme festzuhalten. Der wie eine Schraubzwinge gebogene Tischträger spiegelte dann von seiner unteren mit weissem oder besser leicht gelblichem Papier bedeckten Platte das Licht stets gleichmässig; und wenn einmal das Auge vom Rot ermüdet in Zweifel geriet, auf welcher Seite die dunklere Farbe zu suchen sei, genügte eine halbe Umdrehung, um die beiden Gläser zu vertauschen. Blutlaugensalz statt Rhodanammonium zu nehmen, empfiehlt sich nicht wegen des feinen schmierigen Niederschlags. Die Abbildung entspricht einem hölzernen nur zur Probe angefertigten Modell, das sich ohne Frage leichter und beweglicher halten liesse. Es blieb aber zunächst dabei, weil es auch so seinen Zweck erfüllte.

Fig. 1.
Stativ zum Hehner'schen Apparat.

2. Zusammensetzung des verwendeten Wassers. Weitaus der grösste Teil der Untersuchungen bezieht sich auf den Hofbrunnen der Maschinen-

fabrik von Deseniss & Jacobi A. G. in Hamburg, die auch alle Einrichtungen und sonstigen Hilfsmittel beschafft hat. Den Ingenieuren der Firma, Herren F. Schubert und G. Burger bin ich für Rat und Unterstützung besonders verpflichtet. Dieser von der Firma selbst mit 183 m/m weiten Rohren hergestellte Brunnen gehört der Elbmarsch an und liegt im Stadtviertel Hammerbrook. Aus 23 Metern Tiefe steigt das Wasser bis 2,64 Meter unter Flur und senkt sich um 0,05 Meter für je 1000 Stundenliter Entnahme. Drei konzentrisch in einander gefügte Saugrohre tauchen ein. Das äussere führt zu einer Kondensationspumpe, die während der Arbeitszeit beständig in Tätigkeit ist und 7700 Stundenliter schafft; das mittlere versorgt die Verbrauchsleitung und liefert 8270 Liter stündlich so lange die Pumpe geht; das innerste wurde zu Versuchen in grösserem Masstab benutzt, von denen noch im Einzelnen die Rede sein soll.

Das Wasser hielt sich einen halben Tag und länger klar. Ein im ersten Augenblick lästiger, scharfer Geruch nach Schwefelwasserstoff verliert sich bald. Obwohl zum Trinken nicht eben schädlich wurde doch dazu sowenig als zum Kesselspeisen Gebrauch gemacht.

Tabelle I.

Chemische Zusammensetzung in mgr/Ltr.

Bezeichnung	Hofbrunnen Jan. 1904	Anckelmannsplatz Mai 1904	Barmbeck Markt Mai 1904	N. Pätzel Veddel April 1904	Billwärder a. B. Nr. 4 April 1904
Abdampfrückstand	680	296	244	516	660
Glührückstand		270	216		534
Kieselsäure	20	11	9	27	26
Eisenoxyd und Tonerde	12	2	8	36	13
Kalk	134	78	46	101	73
Magnesia	46	10	17	24	43
Chlornatrium	249	64	21	152	304
Schwefelsäure	95	3,4	2	17	Spur
Kohlensäure (geb.)	111	90	88	108	117
Kohlensäure (freie)	106				
Sauerstoffzehrung (mit Chamäleon)	5	0,5	0,9	5,6	3,5

Am schwierigsten ist es eine Angabe über den Eisengehalt zu machen, weil derselbe in beträchtlichen Grenzen schwankt und zwar anscheinend ganz regellos, oft innerhalb weniger Minuten, oft in Zeiträumen von mehreren Tagen. Als Mittel von 146 Bestimmungen vom September 1903 bis April 1904 mag 4,37 gelten; der niedrigste beobachtete Wert war 3,30, der höchste 6,15. Nichts ist übrigens misslicher als diese Ziffer für ein Wasser festzustellen, das durch eiserne Röhren fliesst und zuweilen in denselben stagniert. Nicht nur dass eine freiwillige Ausscheidung von roten oder schwarzen Oxyden sich einstellt, die mit der Wandung verwachsen, gelegentlich aber in Bröckchen wieder mitgewaschen werden; es lösen sich auch feinste Rostflitterchen vom Rohr mit ab und gelangen unbemerkt in die Probe. Ein Zurückhalten durch Filtrierpapier muss rasch geschehen, da sonst dieses selbst eine recht merkliche katalytische Zersetzung einleitet. Alle Proben sind leicht angesäuert anfzubewahren, um zu verhüten, dass sich abscheidendes Oxyd nicht mit dem Glas verklebe. Einen solchen Absatz von mechanischen Verunreinigungen durch nachträgliches Überführen in Lösung zu trennen, ist ganz untunlich.

Unter Eisengehalt ist immer derjenige von metallischem Eisen in Milligrammen pro Liter gemeint. Das Oxydul ergibt sich daraus durch Multiplikation mit 9/7, das Oxyd mit 10/7.

Ein Mangangehalt (0,45 mgr. Ltr. beim Hofbrunnen) erleidet beim Belüften und Filtrieren keine merkliche Veränderung.

3. Die Versuchsanordnung. Weder in der Handpumpe noch bei einem der verfügbaren Maschinenfabrikate liessen sich die Bedingungen so stetig abändern, wie es einmal unabweisbare Voraussetzung war, um in die grundlegenden Gesetze der Einwirkung von Luft und Wasser nähere Einsicht zu gewinnen. Dazu musste eine Einrichtung geschaffen werden, die durch einen Griff jedes gewünschte Verhältnis herzustellen und zugleich Menge, Druck, Geschwindigkeit jeden Augenblick zu messen erlaubt. Ein Kupferrohr von 200 mm Höhe und 45 mm Weite wurde als einfachwirkende

Pumpe zugerichtet, ein ebensolches Rohr mit Saug- und Druckventil im Boden als Luftpumpe ihm gegenüber aufgestellt. Eine eiserne Stange, die mitten dazwischen abgestützt zugleich als Hebel diente, vermittelte den Antrieb, indem eine Reihe von Löchern abwechselnd den Bolzen zum Gestänge aufnahm. Die nebenstehende Fig. 2 zeigt links den Wasser-, rechts den Luftcylinder;

Fig. 2.
Versuchsanordnung an der Drehbank.

beide gleitend auf einer Schiene aufgeklemmt, die auch die Stütze für den Hebel trägt, der seinerseits von der Planscheibe einer Drehbank aus in Bewegung gesetzt wird und zwar so, dass diese mitsamt dem Spindelstock nach aussen versetzt ist. Die Geschwindigkeiten liessen sich dann sowohl durch die Läufer und das Vorgelege, als durch Verschieben der Hebelkrücke auf dem Mandré beliebig abändern. Daneben wird die Abstellung sichtbar. Der dahinter vorschauende Reitstock aber gehört einer benachbarten Drehbank an und hat mit dem Apparat nichts zu tun. Der Luft- und Wasserstrom

vereinigt sich kurz vor dem zur Linken aufgesetzten Filter. Später wurde, um einen gleichmässigen Druck zu erzielen, noch ein Windkessel eingeschaltet, für sehr kleine Luftmengen auch ein federnder Anschlag vorgesehen und für im Verhältnis sehr kleine Wassermengen ein zweiter Hebel benutzt.

Als Filter dienten anfangs Glashafen von verschiedener Grösse, in denen das Durchquellen von Luft und Wasser deutlich zu beobachten war. Mit Rücksicht auf höhere Drücke griff ich dann zu einem Kupferrohr, am häufigsten zu einem von 80 mm lichter Weite und 600 mm Höhe, also 3 Liter Inhalt, das teilweise oder ganz mit Sand beschickt wurde. Die Eintritts- und Austrittsfläche verkleidete ein Metallgewebe, fein genug, um auch den feinsten verwendeten Filtersand von $^1/_4$ mm Dicke zurückzuhalten. Ich fand es bequem, den Filtercylinder unterhalb des Bodensiebes abzuschneiden und nur mit einer Art Kragen auf den zum Abführen des Filtrates mit Seitenstutzen versehenen Trog aufzusetzen, das Ganze aber mit dem Deckel durch Gummischeiben und 4 lange Schraubenbolzen zu verbinden.

Das Filtermaterial erfordert besondere Aufmerksamkeit. Gewonnen wurde dasselbe durch Sortieren von Elbkies, die gröberen Sande zwischen rundgelochten Messingsieben von bezw. 2 und 3 mm sowie 0,9 und 1,5 mm Lochweite, die feineren Sorten zwischen Gewebesieben von 0,40 und 0,60 mm Maschenweite als $^1/_2$ mm Korn und 0,23 und 0,30 mm Maschenweite als $^1/_4$ mm Korn. Neben der Schwierigkeit die Feine vollständig zu entfernen bildet die Unrundheit der Körner ein unüberwindliches Hindernis überhaupt ein gleichmässiges Produkt zu bekommen. Da es aber für die weiterhin im Zusammenhang gegebenen Folgerungen durchaus nicht auf ein gleichförmiges Porenvolumen, sondern nur auf die Grösse der Berührungsflächen ankommt, die auch durch grobe Abweichungen von der Kugelform nicht auffallend gestört wird, da ferner die Unterschiede nach ab- und aufwärts sich praktisch gegen einander aufheben, glaube ich von Hazen's[1]) sogenann-

[1]) 24th Annual Report of the State Board of Health of Massachusetts for 1892.

tem wirksamen Filterkorn absehen und nur den Druckverlust oder das Gefälle als Massstab der zur Überwindung der Reibung erforderlichen Arbeit in Betracht ziehen zu sollen. Es wird deshalb garnicht näher untersucht, ob das Verhältnis dieses Druckes p ausgedrückt in Atmosphären zur Wassergeschwindigkeit v in Metern per Minute bei verschiedenem Korndurchmesser d in Millimetern besser dargestellt wird nach Hazen durch

$$v = \frac{p\ d^2}{14{,}4}$$

oder nach Slichter[1]) durch

$$v = \frac{0{,}466\ p\ d^2}{K}$$

worin K eine Zahl bedeutet, die mit der Schüttung d. h. dem Porenvolumen sich ändert, für die tatsächlich gebrauchten Sande etwa zwischen 47 und 32 fällt, entsprechend einem Porenraum von 31 bis 35 Prozent des Gesamtraumes. Gibt doch Hazen zu[2]), dass seine Werte mit der Schüttung auf die Hälfte sinken und um $^1/_3$ steigen. Dass ausserdem die Durchlässigkeit von der Temperatur und selbst der Zeit abhängt, tritt nur für sehr geringe Geschwindigkeiten hervor. Die Ungleichförmigkeit der Verlagerung der Körner ist aber so gross, dass auch ohne grössere Lücken oder die sogenannte Krümmelstruktur Wollny's hinzunehmen, sich immer Schichten von grösserer und geringerer Dichte ausbilden.

Das tritt unverkennbar und überzeugend in Figur 3 zu Tage, die einen tubulierten Glascylinder mit einem Filter aus undurchbohrten Glasperlen darstellt. Von den leidlich runden Perlen mass keine mehr als 0,79 und keine unter 0,40, das Mittel war 0,53 nach zahlreichen Ablesungen am Mikrometertaster. Trotzdem zeigen sich deutlich Streifen und Bänder, die vom Einschütten

---

[1]) Nineteenth Annual Report of the U. S. Geolog. Survey 1897/98. II. Papers chiefly of a theoretic Nature. S. 322.

[2]) Bei Forchheimer, Wasserbewegung durch Boden (Zeitschr. d. Ver. d. Ingenieure. XXXXV. 1901. S. 1738.).

herrühren und weder durch Rütteln noch durch Schlämmen sich beseitigen lassen.

Dementsprechend schwankt auch der Filtrationswiderstand nicht nur bei der gleichen Korngrösse, sondern sogar bei Verwendung desselben Materials in neuer Füllung; aber diese an und für sich geringfügigen Unterschiede äussern keinen erkennbaren Einfluss auf die Ableitung der Enteisenungsgesetze. Ganz ohne Bedeutung für den Durchgang scheint daneben die Eisenabscheidung selbst zu sein, von der man erwarten sollte, dass sie durch den schwammigen Absatz die Wege rasch versperren und den Druckwiderstand vermehren müsste.

Fig. 3.
Streifenbildung beim Sandauffüllen.

4. Der Vorgang beim Zusammentreffen von Wasser und Luft im Filter. Nach der gang und gäben Vorstellung müsste ein gleichzeitiges Einleiten von Wasser und Luft in die Sandschicht, die als Filter bezeichnet wird, aber, wie gleich zu zeigen ist, diesen Namen kaum verdient, seinen Zweck verfehlen. Denn da das Wasser durch seine Schwere zu Boden sinkt, die Luft aber durch ihren Auftrieb nach oben strebt, kommen aller Voraussicht nach die beiden Elemente nur unvollkommen zusammen. So verhält es sich in der Tat, wenn man groben Kies und sehr kleine Geschwindigkeiten oder sehr feinen Kies und grosse Geschwindigkeiten nimmt. Bei richtig abgestimmtem Verhältnis erfolgt der gleichzeitige Durchtritt von Gas und Flüssigkeit mit aller Regelmässigkeit in gleicher Richtung von oben nach unten, und nicht etwa im Gegenstrom, wie man vermuten könnte und wie es für Abwässerreinigung beispielsweise versucht wurde.

Aber, lautet der naheliegende Einwand, zugegeben, dass der Sand Wasser und Luft in Tropfen und Bläschen

scheidet, so zwar, dass die letzteren von ersteren mitgerissen werden, wie kann denn der Eisenschlamm, selbst wenn er Zeit findet, sich zu bilden, was kaum wahrscheinlich ist, auf den Körnerwandungen haften, da doch das vorgebildete Oxyd nur bei ganz langsamem Filtrieren sich ohne Trübung zurückhalten lässt? Die Frage umfasst eine ganze Reihe merkwürdiger Erscheinungen. In Wirklichkeit ist zunächst das Eindringen der Luft in das Wasser am besten wohl so zu verstehen. Wenn man ihr genügend Zeit liesse, würde die Luft sich im oberen Teil des Raumes sammeln und das Wasser durch den unteren vor sich herschiebend denselben schliesslich ganz erfüllen, nach Art eines Montejus. Da aber immer neue Luft und neues Wasser an den Eintrittskanten sich stossen, macht sich dabei die Flächenanziehung geltend, welche der Sand auf das Wasser ausübt. Alle Winkel werden davon benetzt und dauernd besetzt gehalten. Die beim ersten Anprall dazwischen geratene Luft sondert sich in Perlenschnüren innerhalb der ab und zu erweiterten Hohlräume. Ihre Oberflächenspannung begünstigt diese Form. Diesen molekularen Kräften gegenüber kommt der Auftrieb nicht mehr zur Geltung, trotzdem dass je weiter nach unten geschoben um so grösseres Volumen auf die gleiche Luftmenge entfällt, weil ja der Druck im Filter fortschreitend abnimmt. Ohne Druck würden die beiden Elemente getrennte Wege einschlagen. Ohne den abwechselnd erweiterten und verengerten Querschnitt des Weges zwischen den als Kugeln gedachten Sandkörnern aber wäre die Luft überhaupt nicht im Stande, das Wasser zu durchdringen; sie könnte dasselbe höchstens vor sich herschieben, wie es geschehen müsste, sobald man an Stelle der Poren feinste parallelwandige Haarröhrchen zu setzen versuchen wollte. Nur indem das Wasser auf Augenblicke seitlich ausweicht und zurückdrängend hinter einem eben hindurchgequetschten Luftbläschen sich wieder schliesst, ist es möglich, beide zugleich vorwärts zu befördern. Dazu ist keineswegs gleiche Geschwindigkeit erforderlich; im Gegenteil wird die Luft im allgemeinen kürzere Strecken wählen als das mit dem Sand zu einem dünnen Brei verklebte

Wasser.[1]) Die auf diese Weise ausgelösten Wirbelströme unterstützen den beabsichtigten Zweck ein richtiges Brausebad zu Stande zu bringen. Sobald die Luftpuffer aber so dicht hinter einander folgen, dass sie in einen einzigen Strahl verschmelzen, hört auch die Mischung auf. Darum erlahmt die Wirkung von einer bestimmten Luftmenge an. Eine nähere Betrachtung der Geometrie des Filteraufbaus wird dies deutlich machen. Um aber nichts in die Theorie hineinzutragen, das nicht durch die beobachteten Tatsachen bedingt wird, seien diese vorher klargestellt.

Es beschränkt sich also der geschilderte Vorgang auf den gleichzeitigen Durchtritt von Luft und Wasser durch ein Sandfilter. Das Eisenwasser zeigt sich beim Verlassen des letzteren jedesmal vollkommen frisch und klar, trotzdem es einen Teil seines Eisengehaltes an den Sand abgegeben, einen mehr oder weniger grossen zurückhält und selbstverständlich mit Sauerstoff aufs vollkommenste durchtränkt austritt. Wie das möglich ist, kann nur schrittweise erläutert werden gegenüber der Lehrmeinung, dass das Eindringen von Luft das Eisen in Form von Oxyd zum Ausfallen bringen müsse. Zunächst liegt die Tatsache vor, dass das Wasser keine andere Behandlung erfährt noch braucht, als die eben geschilderte, und dass es sich dabei je nach der Versuchsanordnung auf jeden beliebigen Grad der Eisenreinheit bringen lässt.

Wenn dem so ist, wenn also Bildung und Anheftung des Eisenabsatzes zusammenfallen, so dient das Filter nicht mehr zum Abfangen von Fremdkörpern von an sich grösserem Durchmesser als die eigenen Zwischenräume oder doch von filziger, klebriger Beschaffenheit, so dass sie in engem Durchlass haften bleiben: es verliert ganz den Charakter eines Siebes oder Seihers überhaupt und dient lediglich zur Flächenvergrösserung bei der Berührung, d. h. als Kontaktsubstrat oder Kata-

[1]) Man vergl. über diesen Zustand die treffenden Bemerkungen von Spring (Bulletin de la Soc. belge de géologie XVII. 1903, S. 13).

lysator. Folgerichtig ist einmal der Durchmesser der Poren gleichgültig, wenn nur die verlangte Oberfläche gewahrt wird; das anderemal keineswegs der dem Strom zugewandte Querschnitt massgebend, sondern nur die Gesamtmasse, gleichgültig in welcher Form dieselbe dem Strom dargeboten wird. In Wirklichkeit beginnt die Eisenausscheidung in dem Gemisch von Luft und Wasser auch sofort, noch ehe das Filter erreicht wird; alle Wände auf diesem Wege kleiden sich mit einer braunen Schicht aus. Das T-Stück aus 8 mm 1. W. Glas, welches bei dem Versuchsapparat die Verbindung mit dem Manometer herstellte und gleichzeitig das Durchstreichen der eingeführten Luft zu beobachten erlaubte, war bald mit einem dichten undurchsichtigen Belag von Eisenhydrat bedeckt. Dass dieses Produkt aber den Filter selbst auch gleichmässig überzieht, war schon aus dessen Wirkungsweise zu schliessen, die der Grösse stets proportional ging. Immerhin konnte die Beanspruchung doch im Inneren verschieden verteilt sein, was nur durch direkte Prüfung zu entscheiden war.

5. Gleichmässiges Überziehen des Filters mit Eisenschlamm. Zu dem Ende liess ich den Fig. 3 abgebildeten Glascylinder 70 mm im Lichten, 300 mm hoch mit Glasperlen wie oben erwähnt von 0,53 mm Korngrösse mehrere Tage lang von Luft und Eisenwasser durchstreichen. Das Gesamtgewicht der Perlen betrug 1993,7 gr, der Eisengehalt am Eintrittsende schliesslich 0,120 % dieses Gewichtes
in der Mitte 0,079
und am unteren Ende 0,073

Danach sollte man glauben, dass zu Anfang doch bedeutend mehr Oxyd sich absetzt. Der Unterschied erklärt sich aber daraus, dass die Operation nur mit achtmaliger Unterbrechung zu bewerkstelligen war, in den Pausen aber in dem in den Leitungen zurückbleibenden Wasser eine freiwillige Eisenabscheidung vor sich ging, deren Produkt einfach auf der Filteroberseite abgelagert wurde. Die Enteisenung im Strom selbst war weit entfernt, vollständig zu sein. Dementsprechend berechnet sich auch die Gesamtmenge des überhaupt

durchgegangenen Eisenoxyds aus Gehalt und Menge des Rohwassers und dem Gehalt des Filtrates zu 10,317 gr, während sich vorfand 11,158.

Ein gleiches Verhalten findet auch in der Praxis statt, wann immer eine Unterbrechung die Stagnation der in den Leitungen verteilten Wassermasse zur Folge hat.

In anderer Form wurde diese gleichmässige Verteilung des Eisenniederschlags bestätigt durch die Enteisenungszahlen für ein Filter von 80 zu 580 mm verglichen mit einem anderen von 152 zu 150 mm, also von gleichem Inhalt, unter im übrigen gleichen Umständen. Leider war dabei auf die Schwankungen im Eisengehalt des Rohwassers nicht gebührend Rücksicht genommen, sodass die Ergebnisse scheinbar zuweilen auseinanderfallen.

Der braune Eisenüberzug der Glasperlen zeigte die bemerkenswerte Eigenschaft, dass durch Ausschlämmen und Reiben davon nur durchschnittlich 49 %, also rund die Hälfte sich ablösen liess, das übrige sass so fest, dass es nur mit Säuren wiederzugewinnen war.

6. Versuche mit $^1/_4$ mm Korn. Die Versuche mit $^1/_4$ mm Korn sind die am wenigsten zahlreichen. Dieselben interessieren auch praktisch am wenigsten, weil bei so feinem Sand der Druck selbst für verhältnismässig geringe Schichtdicken rasch wächst. Nicht dass der Druck selbst von erkennbarem Einfluss auf die Reaktion wäre: er macht nur die Verwendung im Grossen unwirtschaftlich.

Bezeichnet Q = die Wassermenge in ltr|Min.
L_0 = die angesaugte Luftmenge in ltr|Min.
L = dieselbe reduziert auf den mittleren im Filter herrschenden Druck
p = den Überdruck im Filter in Atmosphären
m = den Eisenausfall in mgr|Ltr Fe,

d. i. den Rohgehalt des Wassers vermindert um den im Filtrat noch vorgefundenen Eisenrest, so sind die nachstehenden Tabellen leicht verständlich.

Tabelle II.

Hofbrunnen
¼ mm Korn — Filter 80 mm weit, 100 mm hoch

Nr.	Q	L_0	L	p	Eisengehalt	Eisenrest	ausfall m	x
1	1,50	0,30	0,25	0,38	3,52	3,49	0,03	
2	„	1,00	0,86	0,39	3,66	3,13	0,53	0,39
3	„	1,50	1,28	0,40	4,53	3,66	0,87	0,19
4	1,00	0,46	0,41	0,23	4,53	3,19	1,34	0,26
5	„	0,75	0,67	0,28	3,52	3,20	0,32	0,91
6	„	1,07	0,97	0,28	4,17	3,30	0,87	0,29
7	0,45	0,37	0,34	0,17	3,52	2,83	0,69	0,91
8	„	1,00	0,92	0,19	3,52	2,73	0,79	0,45

Tabelle III.

Hofbrunnen
¼ mm Korn — Filter 80 mm weit, 200 mm hoch

Nr.	Q	L_0	L	p	Eisengehalt	Eisenrest	ausfall m	x
1	1,50	0,71	0,55	0,78	4,05	3,33	0,82	0,58
2	„	0,94	0,71	0,97	4,76	3,16	1,60	0,28
3	1,00	0,20	0,16	0,51	3,49	2,88	0,61	1,40
4	„	0,74	0,60	0,58	4,05	2,50	1,55	0,28
5	0,45	0,50	0,44	0,32	4,84	2,22	2,62	0,42
6	„	1,07	0,92	0,37	4,84	2,03	2,81	0,26
7	„	1,16	1,02	0,35	4,76	1,55	3,21	0,20

Aus den beiden vorstehenden Tabellen lässt sich ein klares Bild zunächst nicht gewinnen. Nur im allgemeinen darf man daraus schliessen, dass die Enteisenung um so ausgiebiger vor sich geht, je geringer die in der Zeiteinheit passierende Wassermenge, also die Geschwindigkeit ist und je grösser bei gleichen Wassermengen die gleichzeitig mit hindurchgehende Luftmenge ist. Beide Mengen sind hier und in allen folgenden Versuchen jedesmal direkt aufgefangen und

gemessen. In der letzten Reihe ist mit $\varkappa$ die Kontaktzeit eingeführt, d. h. die Frist in Minuten, welche für das Gemisch genügt um 1 mgr|Ltr. Eisen zum Ausfallen zu bringen. Dabei ist, wie bei Filtrationen durch Sand üblich, auf das Porenvolumen keine Rücksicht genommen, sondern das Filter homogen gedacht. Versteht man nämlich unter J den Filterinhalt (0,496 ltr für Tab. II, 0,992 ltr. für Tab. III) so ergibt sich

$$\varkappa = \frac{J}{(Q+L)\,m} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Dieses $\varkappa$ erscheint in Tab. II noch durchaus schwankend, etwas bestimmter bereits in Tab. III, übersichtlich klar in Tab. IV.

Die Kontaktzeit $\varkappa$, welche erforderlich ist, um 1 mgr|Ltr. Eisen im Filter abzuscheiden, nimmt sonach

Tabelle IV.

Hofbrunnen

$^1|_4$ mm Korn — Filter 80 mm weit, 300 mm hoch

Nr.	Q	L_0	L	p	Eisengehalt	Eisenrest	ausfall m	$\varkappa$	v	$\varkappa v$
1	0,75	0,38	0,30	0,51	4,69	2,12	2,57	0,54	0,21	0,038
2	„	0,66	0,53	0,53	„	1,99	2,70	0,45	0,26	0,039
3	„	1,00	0,77	0,59	„	1,74	2,95	0,33	0,30	0,033
4	„	1,50	1,16	0,60	„	1,68	3,01	0,24	0,38	0,030
5	„	2,30	1,76	0,62	„	1,21	3,48	0,18	0,50	0,030
6	0,60	0,33	0,28	0,35	4,33	1,80	2,53	0,66	0,18	0,040
7	„	0,67	0,56	0,40	„	1,62	2·71	0,48	0,23	0,037
8	„	1,00	0,83	0,43	„	1,31	3,02	0,33	0,28	0,031
9	„	1,50	1,23	0,44	„	1,11	3,22	0,24	0,37	0.030
10	0,45	1,15	1,01	0,28	4,64	0,114	4,526	0,21	0,29	0,021
11	„	2,00	1,72	0,32	„	0,103	4,537	0,15	0,43	0,022
12	0,30	0,46	0,42	0,22	4,61	0,096	4,514	0,45	0,14	0,021
13	„	0,75	0,68	0,22	„	0,075	4,535	0,33	0,20	0,022
14	„	1,25	1,09	0,23	„	0,110	4,500	0,24	0,28	0,022
15	„	1,67	1,60	0,24	„	0,081	4,529	0,18	0,36	0,022

mit der Luftmenge beständig ab. Da hierbei die Geschwindigkeit v des Gemisches (in m|Min.) natürlich zunimmt, sollte man erwarten, dass beide Werte umgekehrt verlaufen. Das Produkt xv bleibt jedoch nicht konstant, sondern wächst mit der Wassermenge.

Störend greift in Tab. II und III auch der stete Wechsel im Eisengehalte des Rohwassers ein. Dasselbe wurde dabei aus einer Fünfliterflasche geschöpft und durch beständiges Nachfliessen von der Pumpleitung her ergänzt, im Glauben, dass erhebliche Verschiedenheiten erst in längeren Zeiträumen sich geltend machen. Durch das unvermittelte Auf- und Abschwanken von Stichproben aufmerksam gemacht, fand ich indessen, dass Mittelwerte zwischen noch so sehr genäherten Beobachtungen nicht erlaubt sind und selbst bei fast gleichmässiger Feststellung des Eisenwertes in Roh- und Reinwasser Zweifel an deren Zugehörigkeit bleiben. Beispielsweise stellte ich direkt am Pumpenausguss fest

um	$9\|^1_2$	Uhr	4,54	mgr|Ltr. Fe
	10	„	4,78	„ „
	$10^1\|_2$	„	3,39	„ „
	11	„	3,84	„ „
	$11^1\|_2$	„	3,88	„ „

Um überhaupt ein Wasser von durchschnittlich gleichem Gehalt zu beschaffen, blieb nichts übrig, als die für eine Versuchsreihe erforderliche Menge in einem Glasballon zu sammeln und sorgfältig zu mischen. So geschah es für Tab. IV.

Die Besorgnis, dass durch diesen Kunstgriff der Enteisenung Vorschub geleistet werden könnte, indem der Niederschlag rascher eintrete nachdem die Lösung erst einmal Luft gerochen, als wenn sie direkt vom Brunnen kommt, wird durch einige Veranstaltungen im einen und anderen Sinne leicht entkräftet. Der dabei in Lösung gehende Sauerstoff wirkt offenbar viel zu träge, um den Wert von x, das kaum je über eine halbe Minute hinauskommt, zu beeinflussen.

Ausser mit Wasser aus dem Hofbrunnen von Deseniss & Jacobi wurde der $^1|_4$ mm Sand auch noch

Tabelle V.

Anckelmann's Brunnen

¼ mm Korn — Filter 80 mm weit, 200 mm hoch

Nr.	Q	L_0	L	p	Eisengehalt	rest	ausfall m	$\varkappa$
1	1,00	0,59	0,50	0,35	0,73	0,07	0,66	1,02
2	„	0,87	0,74	0,41	„	„	„	0,87
3	„	1,00	0,73	0,72	1,03	„	0,96	0,60
4	„	2,22	1,82	0,43	0,73	0,26	0,47	0,76
5	0,80	0,59	0,50	0,36	„	0,12	0,61	1,16
6	„	2,02	1,68	0,41	„	0,06	0,67	0,52
7	0,45	0,46	0,40	0,32	1,06	0,03	1,03	1,16
8	„	0,50	0,43	0,33	1,03	0,03	1,00	1,14
9	„	0,85	0,72	0,37	„	0,04	0,99	0,87
10	„	1,00	1,85	0,32	„	„	„	0,78
11	„	1,20	1,02	0,36	1,06	0,05	0,99	0,69

Tabelle VI.

Billwärder a. B. Nr. 4

¼ mm Korn — Filter 80 mm weit, 200 mm hoch

Nr.	Q	L_0	L	p	Eisengehalt	rest	ausfall m	$\varkappa$
1	1,00	1,31	1,05	0,51	7,85	3,12	4,73	0,10
2	„	1,93	1,54	0,53	„	3,55	4,30	0,09
3	0,45	0,56	0,49	0,27	„	1,27	6,58	0,16
4	„	0,93	0,81	0,28	„	1,36	6,49	0,12
5	„	1,20	1,04	0,30	„	1,43	6,42	0,12
6	„	1,85	1,62	0,28	„	0,45	7,40	0,07
7	„	2,11	1,82	0,32	„	0,78	7,07	0,06

mit solchem aus dem Anckelmann's Brunnen und dem Pumpbrunnen Billwärder a. B. Nr. 4 beschickt.

Man beachte die Druckschwankungen bei verschiedenen Füllungen. Die Anfangsgehalte in Tab. IV sind zu wechselnd, die Unterschiede zu gering, um scharfe Folgerungen daraus zu ziehen. Mit dem Druck viel über 1 Atmosphäre hinaus zu gehen, verbot die Verbindung von Glas und Gummischlauch am Apparat. Eben dieser hohe Widerstand dürfte nur in seltenen Fällen

erlauben, von solcher Sandfeinheit überhaupt Gebrauch zu machen, unerachtet es damit leicht fällt (s. letzte Zahlenzeile in Tab. IV), die Enteisenung sehr weit zu treiben.

7. Versuche mit $^1/_2$ mm Korn. Ausgiebiger und beredter sind die mit $^1/_2$ mm Korn gewonnenen Zahlen. Aus der grossen Reihe von Feststellungen mit verschiedenen Filtern seien zum Vergleich nur diejenigen des halb- und ganz gefüllten Filters von 80 mm Durchmesser und 600 mm Höhe aufgeführt.

Tabelle VII.

Hofbrunnen

$^1/_2$ mm Korn — Filter 80 mm weit, 300 mm hoch

Nr.	Q	L_0	L	L/Q	p	Eisengehalt	Eisenrest	Eisenausfall	$\varkappa$	P
								m		
1	0,75	0,52	0,50	0,67	0,10	3,94	1,05	2,89	0,42	0,84
2	„	0,94	0,89	1,18	0,13	„	1,26	2,68	0,33	0,74
3	0,75	1,16	1,07	1,35	0,17	3,94	1,15	2,79	0,30	0,72
4	„	2,73	2,49	3,32	0,19	„	0,99	2,95	0,15	0,68
5	0,60	0,55	0,52	0,87	0,09	4,59	1,43	3,16	0,42	0,80
6	„	0,59	0,55	0,92	0,14	„	2,31	2,28	0,57	1,09
7	„	0,72	0,67	1,12	0,15	„	1,93	2,66	0,45	0,94
8	„	1,05	0,96	1,60	0,18	„	2,04	2,55	0,39	0,98
9	„	1,25	1,16	1,93	0,15	„	1,75	2,84	0,30	0,88
10	„	1,28	1,17	1,95	0,18	„	1,91	2,68	0,30	0,93
11	„	1,76	1,61	2,68	0,19	„	2,02	2,57	0,27	0,98
12	0,45	0,52	0,50	1,81	0,09	4,69	0,70	3,99	0,39	1,68
13	„	0,55	0,53	1,19	0,09	4,16	0,53	3,63	0,42	0,92
14	„	0,77	0,74	1,64	0,09	„	1,75	2,41	0,51	1,38
15	„	0,81	0,77	1,73	0,10	4,69	0,99	3,70	0,33	1,80
16	„	0,83	0,80	1,78	0,10	4,16	1,16	3,00	0,39	1,11
17	„	1,11	1,05	2,33	0,11	„	1,25	2,91	0,33	1,15
18	„	1,43	1,34	2,98	0,13	4,69	0,71	3,98	0,21	1,68
19	„	1,88	1,80	4,00	0,13	4,16	1,01	3,15	„	1,06
20	„	2,35	2,20	4,89	0,14	„	„	„	0,18	„
21	0,30	0,50	0,48	1,27	0,08	4,69	0,31	4,38	0,45	1,14
22	„	0,79	0,76	2,53	0,09	„	0,29	4,40	0,33	„
23	„	1,37	1,30	4,33	0,11	„	0,19	4,50	0,21	1,11
24	„	1,90	1,80	6,00	0,12	„	0,14	4,55	0,18	1,10

Tabelle VIII.

Hofbrunnen

$^1/_2$ mm Korn — Filter 80 mm weit, 600 mm hoch

Nr.	Q	L_0	L	L/Q	p	Eisengehalt	rest	ausfall m	x	P
1	1,00	0,06	0,05	0,05	0,24	4,41	2,16	2,25	1,26	1,33
2	„	0,17	0,15	0,15	0,26	„	1,98	2,43	1,17	1,24
3	„	0,40	0,34	0,34	0,36	4,67	2,14	2,53	0,87	1,18
4	„	0,57	0,48	0,48	0,39	„	2,45	2,22	0,93	1,35
5	„	0,83	0,68	0,68	0,43	4,40	2,27	2,13	0,84	1,41
6	„	1,07	0,88	0,88	0,44	4,67	2,60	2,07	0,78	1,45
7	„	1,26	1,03	1,03	0,45	„	2,45	2,22	0,66	1,35
8	„	1,37	1,11	1,11	0,46	4,40	1,92	2,48	0,57	1,21
9	„	2,00	1,63	1,63	0,47	4,67	2,20	2,47	0,45	1,23
10	„	2,30	1,85	1,85	0,48	4,40	1,94	2,46	0,42	1,25
11	„	4,30	3,33	3,33	0,58	„	1,95	2,45	0,27	1,26
12	0,75	0,43	0,37	0,49	0,34	4,51	2,12	2,39	1,11	1,68
13	„	0,63	0,53	0,71	0,38	„	2,13	2,38	0,99	1,69
14	„	0,75	0,63	0,84	0,39	4,44	1,52	2,92	0,75	1,40
15	„	1,00	0,83	1,02	0,40	4,51	1,97	2,59	0,75	1,58
16	„	1,20	1,00	1,32	„	4,40	1,56	2,84	0,60	1,41
17	„	1,36	1,13	1,52	„	4,44	1,73	2,71	0,57	1,48
18	„	1,67	1,40	1,87	„	„	1,51	2,93	0,48	1,39
19	„	2,50	2,07	2,75	0,41	4,40	1,20	3,20	0,33	1,26
20	„	3,00	2,48	3,32	„	„	1,04	3,40	0,27	1,18
21	„	3,75	3,07	4,10	0,43	„	0,71	3,69	0,21	1,09
22	„	4,30	3,52	4,69	0,45	4,44	0,47	3,97	0,18	1,01
23	0,60	0,03	0,03	0,05	0,10	4,78	2,26	2,52	1,90	1,99
24	„	0,05	0,04	0,07	0,11	„	2,31	2,47	1,92	2,33
25	„	0,19	0,18	0,30	0,12	4,63	1,23	3,40	1,14	1,47
26	„	0,23	0,21	0,35	0,13	4,78	2,07	2,71	1,36	1,85
27	„	0,25	0,23	0,38	0,13	„	1,31	3,47	1,04	1,45
28	„	0,28	0,26	0,43	0,14	4,91	0,96	3,95	0,89	1,27
29	„	0,48	0,41	0,68	0,16	„	1,64	3,27	0,91	1,53
30	„	0,46	0,42	0,70	0,18	4,84	1,04	3,80	0,77	1,32
31	„	0,52	0,48	0,80	0,19	4,91	1,23	3,68	0,79	1,36
32	„	0,75	0,70	1,11	„	4,84	1,29	3,55	0,65	1,41
33	„	0,92	0,84	1,40	„	„	1,20	3,64	0,57	1,38
34	„	1,31	1,20	2,00	0,20	„	0,75	4,09	0,41	1,22
35	„	1,58	1,44	2,40	„	„	0,60	4,24	0,34	1,18

36	0,45	0,25	0,23	0,51	0,11	5,30	1,32	3,98	1,11	1,69
37	„	0,30	0,28	0,62	0,13	„	1,58	3,72	„	1,80
38	„	0,33	0,30	0,67	„	„	0,94	4,36	0,92	1,54
39	„	0,52	0,48	1,06	0,15	„	1,21	4,09	0,79	1,64
40	„	0,58	0,54	1,20	„	4,95	0,62	4,33	0,69	1,55
41	„	0,75	0,69	1,53	0,16	„	0,28	4,67	0,60	1,43
42	„	1,20	1,07	2,38	0,23	„	0,50	4,45	0,45	1,51
43	„	2,50	2,23	4,96	0,24	„	0,26	4,69	0,24	1,43
44	„	4,30	3,77	8,38	0,27	„	0,13	4,82	0,15	1,39

Trotz der mit unterlaufenen Unregelmässigkeiten ist nicht zu verkennen, dass

1) der Eisenausfall umgekehrt proportional der Wassermenge wächst,

2) der Eisenausfall in gewissem Grade auch mit der zugeführten Luftmenge steigt.

Wollte man für eine bestimmte Wassermenge den Eisenausfall m als Ordinate und die Luftzufuhr L als Abszisse auftragen, so würde man bald finden, dass die Enteisenung sich anfangs sehr unregelmässig bewegt und erst von einer gewissen Luftmenge, deren Verhältnis zur Wassermenge L/Q im allgemeinen > 1 sich darstellt, kontinuirlich ansteigt. Im Diagramm A ist diese Darstellung durchgeführt unter Zugrundelegung von m und L/Q als Koordinaten. Die Unbekanntschaft mit dieser Erscheinung war ein Hauptgrund, weshalb beim Rieseln oder Zerstäuben von Wasser in atmosphärischer Luft gewöhnlich so ungleiche Resultate erzielt wurden, welche die Beobachter geneigt waren ausschliesslich dem verschiedeneu Charakter der Wässer zuzuschreiben. Die wahre Ursache dieser unvollkommenen Einwirkung bei L/Q < 1 kann erst in das rechte Licht gerückt werden, nachdem die Vorgänge im Filter eingehendere Prüfung erfahren haben.

8. Abscheidungszeit der Luftmenge umgekehrt proportional. Dass weder die Kontaktzeit $\varkappa$ noch die Geschwindigkeit in Verbindung mit derselben eine Handhabung bietet, die Wirkung der beiden Elemente aufeinander zu bestimmen, ist bereits bei Besprechung von Tab. III. angedeutet worden. Schon der Umstand, dass in $\varkappa = \frac{J}{(Q + L)\,m}$ die Werte für

Q und L sich vertauschen lassen ohne $\varkappa$ zu ändern, weist auf die Unmöglichkeit hin, aus einer blossen Defi-

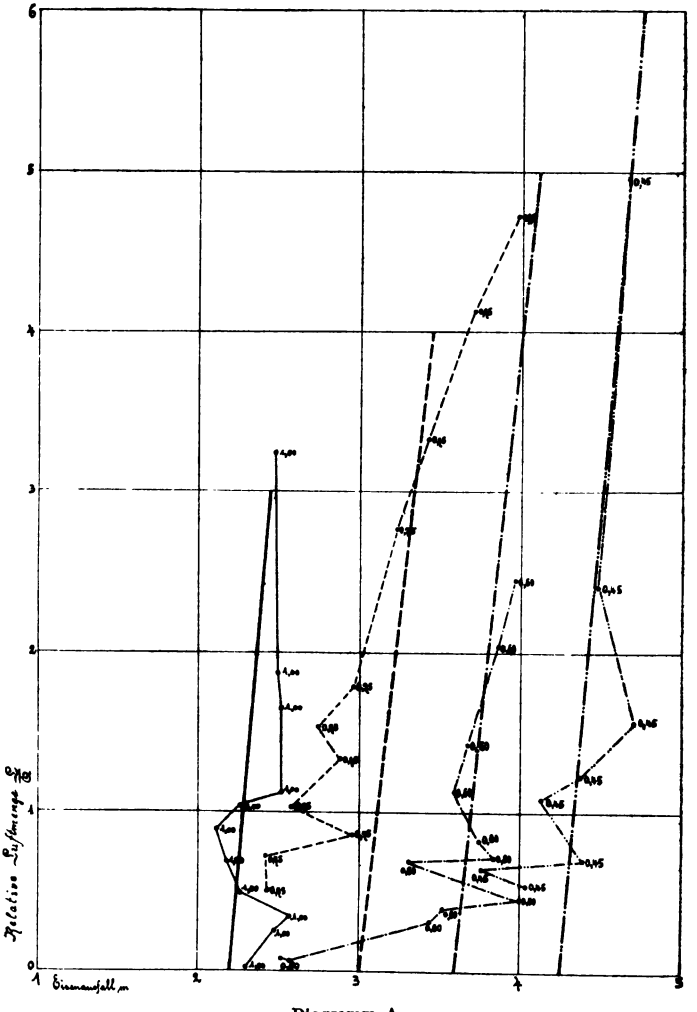


Diagramm A

nition heraus, wie sie (1) enthält, eine Kraftwirkung herzuleiten. Betrachtet man indessen die den ver-

wandten Wassermengen entsprechenden Linien im Diagramm A näher, so springt in die Augen, dass sie mit Zunahme von L/Q eine, wenn auch geringe Zunahme von m aufweisen. Die punktierten starken Linien sollen die richtig d. i. streng regelmässig gedachten Werte darstellen; dann entzieht selbst die (vielleicht überanstrengte) Linie für 1,0 Liter sich der Regel nicht.

m wächst nahezu mit $^1/_{10}$ L/Q, wenigstens zwischen $1 < L/Q < 5$. Man darf sonach setzen

$$m = m_0 \ (1 + 1/10 \ L/Q)$$

Dann entspricht m_0 dem Wert, den m haben müsste, wenn $L/Q = 0$ d. h. keine Luft zur Verwendung gelangte: ein Fall, der lediglich der Formulation dient, da alsdann natürlich von Eisenausscheidung keine Rede sein könnte. Im einzelnen gehört zu

1,00	ltr/Min	. . . . .	$m_0 = 2{,}20$	mgr/Ltr.
0,75	„		„ $= 3{,}00$	„
0,60	„		„ $= 3{,}60$	„
0,45	„		„ $= 4{,}24$	„

Es zeigt sich ferner bei eingehender Vergleichung der Zahlenreihe in Tab. VII und VIII, dass Eisenausfall m_0 und Wassermenge Q nicht allein umgekehrt proportional sich verhalten, sondern dass auch $\varkappa$ mit Q zwar abnimmt, mit der relativen Luftmenge Q/L aber zunimmt, derart, dass

$$\varkappa \cdot \frac{Q + L}{Q} = P \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (2)$$

einen konstanten Wert behält.

Das besagt: Die Zeiten, welche erforderlich sind, um gleiche Teile Eisen abzuscheiden, verhalten sich umgekehrt wie die relativen Luftmengen.

Die letzte Reihe in Tab. VII und VIII enthält die Werte für P, deren Mittel sich auch herleiten lässt aus

$$\frac{J}{(Q+L)m} \cdot \frac{Q + L}{Q} = \frac{J}{Q \cdot m} \ . \ . \ . \ . \ (3)$$

was gleichbedeutend ist mit $L = 0$

also $m = m_0$

für	1,00	ltr Min.	$m_0 = 2{,}20$	$P =$	1,37
„	0,75	„ „	3,00	„	2,34
„	0,60	„ „	3,60	„	1,39
„	0,45	„ „	4,24	„	1,58
			im Mittel	$P =$	1,42

Graphisch entspricht P dem Parameter einer gleichseitigen Hyperbel, deren Asymptotengleichung die Faktoren x und $\frac{Q+L}{Q}$ zu Koordinaten hat.

In Diagramm B wird dies veranschaulicht. P gewinnt dann den Sinn $P = \frac{1}{2} a^2$. worin $a = 1{,}7$ den Achsenabstand der Hyperbel vom Schnittpunkt der Asymptoten bedeutet. Je weiter man übrigens auf dieser Kurve sich von der Hauptsache entfernt, um so weniger stimmt ihr (stark ausgezogener) Lauf mit der Wirklichkeit überein. Der untere Hyperbelzweig geht rasch zu tief, der obere zu steil. Die Abweichung rührt somit nicht sowohl von unberücksichtigt gebliebenen Konstanten her, wie etwa in der van der Waals'schen Gleichung gegenüber dem Boyle'schen Gesetz, als von Unregelmässigkeiten, die mit jedem der beiden Faktoren anschwellen. Vor allem geht Wasser und Luft durchaus nicht als geschlossene Masse durch das Filter, dessen ungleichförmige Sandschicht ihrerseits störend sich geltend macht.

In der Nähe der Hauptachse aber vollzieht sich die Eisenabscheidung mit physikalischer Strenge, die nur durch die Fehler der chemischen Analyse ein wenig getrübt wird.

Alle so berechneten Zahlen für m und P gelten natürlich nur für die zugehörigen Eisengehalte des Rohwassers, und genau genommen, nur für ein und dasselbe Wasser. Für jedes andere, dessen Charakter selbst bei gleichem Eisengehalt doch massgebend auf seine Veränderung einwirkt, wechseln auch die genannten Be-

stimmungselemente. Es seien darum die Erfahrungsresultate in gleicher Form unter Tab. IX und X je für

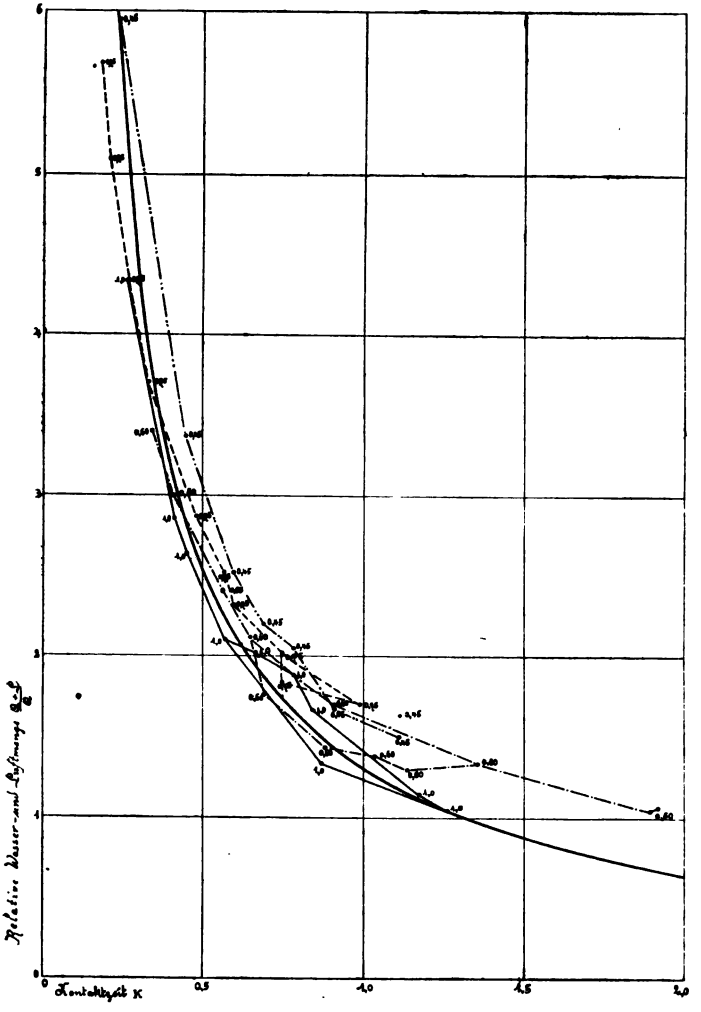


Diagramm B.

ein sehr eisenarmes und besonders eisenreiches Wasser zusammengetragen.

Tabelle IX.

Anckelmann's Brunnen

$^1/_2$ mm Korn — Filter 80 mm weit, 600 mm hoch

Nr.	Q	L_0	L	L|Q	p	Eisengehalt	Eisenrest	ausfall m	$\varkappa$	P
1	1,50	0,79	0,60	0,40	0,63	1,29	0,29	1,00	1,58	2,00
2	„	1,20	0,82	0,55	0,64	„	0,11	1,18	1,24	1,70
3	„	1,57	1,17	0,78	0,68	„	0,13	1,16	1,12	1,73
4	„	1,73	1,30	0,87	0,69	„	0,28	1,01	1,26	1,98
5	„	2,30	1,69	1,13	0,72	„	0,53	0,76	1,50	2,63
6	1,00	1,23	1,08	1,08	0,29	1,37	0,21	1,16	1,24	2,58
7	„	1,38	1,18	1.18	0,34	„	0,13	1,24	1,12	2,43
8	„	1,84	1,55	1,55	0,39	„	0,11	1,26	0,94	2,40
9	„	2,21	1,83	1,83	0,42	„	0,08	1,29	0,82	2,33
10	„	2,76	2,23	2,23	0,48	„	0,09	1,28	0,88	2,35
11	0,70	0,63	0,56	0,80	0,26	1,28	0,07	1,21	1,67	3,58
12	„	0,89	0,79	1,13	0,26	„	0,11	1,17	1,40	3,68
13	„	1,38	1,20	1,71	0,30	„	0,09	1,19	1,04	3,62
14	„	1,90	1,64	2,34	0,32	„	0,05	1,23	0,81	3,52

Bei Tab. IX steht zu besorgen, dass ein Teil des Eisengehaltes bereits ausgeschieden als unmerkliche Trübung auf das Filter gelangte. Die höchsten Zahlen für P sind aus diesem Grunde wohl die annehmbarsten. In Tab. X macht sich die beginnende freiwillige Abscheidung noch empfindlicher fühlbar. Das Wasser war, obschon es frisch 24 mgr|Ltr Fe enthält, im besten Falle mit 22 mgr in den Versuch einzubringen.

Ausnahmslos gilt sonach für die verschiedensten Wässer und die höchsten wie niedrigsten Eisengehalte, dass es nur von der Wassermenge zusammen mit dem entsprechenden Luftquantum abhängt, die Eisenreinheit bis auf jeden beliebigen Grad herabzudrücken. Die Leichtigkeit dieser Reinigung richtet sich allerdings im Allgemeinen nach der Höhe der Enteisenung, und im Besonderen ohne Zweifel nach den Begleitsalzen, auf die noch näher einzugehen sein wird.

Tabelle X.

H. Pätzel Nachf. — Veddel

$^1/_2$ mm Korn — Filter 80 mm weit, 600 mm hoch

Nr.	Q	L_0	L	L|Q	p	Eisen-gehalt	rest	ausfall	$\varkappa$	P
								m		
1	1,00	0,74	0,60	0,60	0,45	21,3	9,11	12,19	0,15	0,24
2	„	1,43	1,13	1,13	0,51	19,9	9,04	10,86	0,13	0,28
3	„	2,47	1,91	1,91	0,57	19,6	8,93	10,67	0,12	0,35
4	0,80	0,86	0,73	0,91	0,39	19,6	7,89	11,71	0,17	0,32
5	„	1,08	0,89	1,11	0,41	19,0	8,15	10,85	0,16	0,34
6	„	1,34	1,11	1,39	0,29	19,0	7,73	11,27	0,14	0,34
7	„	1,64	1,35	1,70	0,42	19,0	5,72	13,28	0,11	0,30
8	„	2,22	1,80	2,25	0,47	20,0	5,56	14,44	0,08	0,26
9	0,60	0,73	0,63	1,05	0,28	22,1	4,34	17,76	0,14	0,29
10	„	1,08	0,94	1,57	0,29	22,0	4,32	17,68	0,11	0,28
11	„	1,27	1,10	1,85	0,30	22,0	4,32	17,68	0,10	0,29
12	„	1,58	1,36	2,27	0,32	21,3	4,00	17,30	0,09	0,30
13	„	2,33	1,96	3,27	0,37	20,7	4,70	16,00	0,07	0,30
14	0,45	0,52	0,47	1,04	0,22	19,5	3,93	15,57	0,21	0,43
15	„	0,85	0,76	1,52	0,24	19,4	3,92	15,48	0,15	0,38
16	„	1,11	0,98	1,96	0,25	19,3	2,70	16,60	0,13	0,38
17	„	1,58	1,22	2,44	0,26	19,3	1,54	17,76	0,10	0,34
18	„	2,22	1,94	3,87	0,28	19,3	1,05	18,25	0,07	0,27
19	0,30	0,57	0,53	1,77	0,14	20,5	0,48	20,02	0,18	0,50
20	„	0,97	0,90	3,00	0,17	19,4	0,62	18,78	0,13	0,52
21	„	1,23	1,12	3,73	0,18	18,3	0,58	17,72	0,12	0,57
22	„	1,71	1,55	5,17	0,20	17,1	0,53	16,57	0,10	0,62
23	0,18	1,71	1,64	9,13	0,08	17,1	0,23	16,87	0,10	1,01

In keinem Falle bedarf es aber um die doppelte Menge Eisen zu entfernen, der doppelten Zeit- oder Berührungsfläche im Filter, sondern einer weit geringeren: für 20 mgr|Ltr Fe beispielsweise bei Verwendung von gleichen Luft- und Wasservolumina nur $\frac{P}{2} = 0{,}15$ Min. für jedes mgr oder $0{,}15 \times 20 = 3$ Min. im Ganzen, für 4 mgr

Tabelle XI.

Billwärder a. B. Nr. 4

$^1|_2$ mm Korn — Filter 80 mm weit, 600 mm hoch

Nr.	Q	L_0	L	L/Q	p	Eisengehalt	rest	ausfall m	$\varkappa$	P
1	0,80	0,90	0,79	0,99	0,28	8,10	0,15	7,95	0,24	0,47
2	„	1,39	1,22	1,52	0,29	„	0,13	7,97	0,19	0,47
3	„	1,59	1,38	1,72	0,31	„	0,21	7,89	0,17	0,47
4	0,60	0,97	0,86	1,43	0,25	7,89	0,12	7,77	0,27	0,65
5	„	1,35	1,21	2,02	0,25	„	0,15	7,74	0,22	0,65
6	„	2,20	1,93	3,22	0,28	„	0,18	7,71	0,16	0,66
7	0,45	0,65	0,59	1,31	0,19	8,10	0,08	8,02	0,37	0,85
8	„	1,33	1,21	2,69	0,20	„	0,09	8,01	0,23	„
9	„	1,35	1,22	2,71	0,21	„	0,10	8,00	0,23	„
10	„	2,02	1,81	4,03	0,22	„	0,02	8,08	0,17	„

dagegen $0{,}71 \times 4 = 2{,}84$ Min., da dann erfahrungsgemäss $\frac{P}{2} = 0{,}71$ wird.

Da diese Verhältnisse auch für andere Korngrössen sich ähnlich gestalten, so sollen der Übersicht halber noch 1 und 2—3 mm Sande in den Kreis der Betrachtung gezogen worden.

9. Versuche mit 1 mm Korn. Wie $^1|_2$ mm Korn nach abwärts, so scheint das 1 mm Korn im allgemeinen nach oben die Grenze der Verwertbarkeit zu bilden, da für die mit Rücksicht auf vollständige Enteisenung erforderlichen Geschwindigkeiten die Drücke so gering ausfallen, dass Luft und Wasser in grösseren Porenräumen sich nur mehr unvollkommen mit einander mischen. Die 3 in Tab. XII, XIII und XIV behandelten Wässer sind dieselben wie in Tab. VIII, IX, X, nur dass an Stelle des Anckelmann's Brunnens das durchaus ähnliche Eisenwasser aus dem Tiefbrunnen am Barmbecker Marktplatz getreten ist.

Tabelle XII.

Hofbrunnen

1 mm Korn — Filter 80 mm weit, 600 mm hoch

Nr.	Q	L_0	L	L/Q	p	Eisengehalt	rest	ausfall	$\varkappa$	P
1	2,00	0,58	0,53	0,27	0,21	3,79	2,78	1,01	1,14	1,50
2	„	0,60	0,55	0,28	0,19	4,37	3,17	1,20	0,99	1,25
3	„	1,50	1,30	0,65	0,24	3,79	3,40	0,39	2,31	3,86
4	„	3,00	2,60	1,30	0,28	„	3,30	0,49	1,35	3,06
5	1,00	0,14	0,13	0,13	0,06	3,40	1,78	1,62	1,65	1,86
6	„	0,40	0,38	0,38	0,09	„	1,97	1,43	1,17	2,14
7	„	0,60	0,57	0,57	0,11	„	1,78	1,62	1,50	1,86
8	„	0,94	0,90	0,90	0,11	„	1,91	1,49	0,90	2,01
9	„	1,36	1,30	1,30	0,12	„	1,86	1,54	0,84	2,00
10	„	1,67	1,60	1,60	0,12	„	1,49	1,91	0,60	1,57
11	0,75	0,22	0,21	0,28	0,04	4,25	2,35	1,90	1,62	2,10
12	„	0,50	0,48	0,64	0,05	„	2,19	2,06	1,17	1,94
13	„	0,70	0,68	0,91	0,05	„	2,01	2,24	0,98	1,78
14	„	0,75	0,73	0,97	0,06	„	1,85	2,40	0,84	1,25
15	„	0,94	0,91	1,21	0,07	„	1,67	2,58	0,69	1,16
16	0,45	0,15	0,15	0,33		3,69	0,86	2,83	1,77	2,12
17	„	0,55	0,54	1,20		„	0,66	3,03	0,99	1,98
18	„	0,94	0,92	2,05	0,04	„	0,50	3,19	0,69	1,88
19	„	1,50	1,47	3,27		„	0,36	3,33	0,45	1,80
20	„	2,00	1,94	4,32		4,19	0,30	3,89	0,36	1,54
21	„	2,50	2,42	5,38		„	0,29	3,90	0,27	1,53

Tabelle XIII.

Barmbeck-Marktplatz

1 mm Korn — Filter 80 mm weit, 600 mm hoch

Nr.	Q	L_0	L	L/Q	p	Eisengehalt	rest	ausfall	$\varkappa$	P
1	0,60	0,54	0,54	0,90	0,02	1,26	0,43	0,83	3,17	6,07
2	„	0,78	0,78	1,30	0,03	„	0,47	0,79	2,74	6,36
3	„	1,17	1,17	1,95	0,03	„	0,33	0,93	1,83	5,47
4	„	1,52	1,52	2,53	0,05	„	0,37	0,89	1,59	5,64
5	0,45	0,52	0,52	1,15	0,01	„	0,34	0,92	3,36	6,54
6	„	0,78	0,78	1,70	0,02	„	0,31	0,95	2,56	6,33
7	„	1,20	1,20	2,67	0,03	„	0,41	0,85	2,14	7,07
8	„	1,43	1,43	3,18	0,03	„	0,65	0,61	2,63	9,88

Tabelle XIV.

H. Pätzel Nachf.-Veddel
1 mm Korn — Filter 80 mm weit, 600 mm hoch

Nr.	Q	L_0	L	L|Q	p	Eisengehalt	rest	ausfall	$\varkappa$	P
								m		
1	1,00	1,11	1,08	1,08	0,06	20,9	11,03	9,87	0,15	0,31
2	„	1,48	1,42	1,42	0,09	21,4	10,22	11,18	0,11	0,27
3	„	2,46	2,32	2,32	0,12	21,4	9,80	11,20	0,08	0,27
4	0,60	1,11	1,11	1,85		17,0	4,15	12,85	0,14	0,40
5	0,45	0,54	0,54	1,08		18,7	5,77	12,93	0,24	0,50
6	„	0,89	0,89	1,78		17,1	4,56	12,54	0,18	0,50
7	„	1,11	1,11	2,21		17,1	4,05	13,05	0,15	0,48
8	„	1,53	1,53	3,06		20,3	3,81	16,49	0,09	0,37
9	„	2,16	2,16	4,31		21,9	3,10	18,80	0,06	0,33

Tabelle XV.

Billwärder a. B. Nr. 4
1 mm Korn — Filter 80 mm weit, 600 mm hoch

Nr.	Q	L_0	L	L|Q	p	Eisengehalt	rest	ausfall	$\varkappa$	P
								m		
1	1,50	1,11	1,02	0,68	0,18	8,82	5,43	3,39	0,35	0,59
2	„	1,47	1,34	0,89	0,19	„	5,36	3,34	0,31	0,58
3	„	2,11	1,92	1,28	0,21	„	5,30	3,52	0,25	0,57
4	1,00	1,11	1,05	1,05	0,11	9,61	3,66	5,95	0,25	0,51
5	„	1,40	1,32	1,32	0,12	„	4,23	5,38	0,22	0,56
6	„	2,33	2,20	2,20	0,13	8,82	3,96	4,86	0,16	0,64
7	0,80	2,22	2,11	2,64	0,09	8,82	2,78	6,04	0,17	0,62
8	0,60	0,66	0,65	1,08	0,03	7,70	0,40	7;30	0,33	0,68
9	„	0,99	0,97	1,62	0,04	„	0,53	7,17	0,27	0,69
10	„	1,40	1,37	2,26	0,04	„	0,80	6,90	0,22	0,73
11	„	2,02	1,98	3,30	0,04	„	0,35	6,35	0,18	0,78
12	0,45	0,62	0,61	1,36	0,03	„	0,40	7,30	0,39	0,91
13	„	1,40	1,38	2,76	0,03	„	0,32	7,38	0,22	0,91
14	„	1,93	1,91	4,25	0,03	„	0,28	7,42	0,17	0,90

10. Versuche mit 2 mm Korn. Nach derselben Richtung wie für 1 mm Korn entfernen sich auch die Werte von $\varkappa$ und P für 2 mm Korn. Es ist deutlich, dass die Parameter mit der Korngrösse zunehmen, wenn

Tabelle XVI.

Hofbrunnen

2 mm Korn — Filter 80 mm weit, 600 mm hoch

Nr.	Q	L_0	L	L|Q	p	Eisengehalt	rest	ausfall m	$\varkappa$	P
1	1,00	0,62	0,60	0,60	0,05	4,22	2,12	2,10	0,89	1,43
2	„	1,10	1,06	1,06	0,08	„	2,53	1,69	0,86	1,77
3	„	1,72	1,63	1,63	0,10	4,13	2,42	1,71	0,67	1,76
4	0,45	0,36		0,80	0,06	4,63	1,80	2,83	0,86	2,36
5	„	0,81		1,79	0,04	„	1,91	2,73	0,50	2,41
6	„	1,10		2,46		4,21	2,07	2,14	„	3,14
7	„	1,35		3,01		„	1,69	2,52	0,34	2,67
8	0,30	0,37		1,23		4,55	0,73	3,82	0,52	2,62
9	„	0,69		2,30		„	1,20	3,35	0,33	3,00
10	„	1,10		3,68		4,84	0,95	3,89	0,20	2,56
11	„	„		3,68		4,64	0,68	3,96		
12	„	1,67		5,57		„	0,73	3,91	0,13	2,56

auch nicht im gleichen Verhältnisse. Allzugrosses Gewicht ist bei der selbst bei genauester Korngleichheit vorhandenen Unsicherheit in der Porengrösse aus Gründen der wechselnden Schüttung kaum dem Umstand beizumessen, dass der jedesmaligen Verdoppelung des Korndurchmessers ein ungleiches Anwachsen des Parameters entspricht. Nämlich für das Wasser vom Hofbrunnen Deseniss & Jacobi mit 4—5 mgr|Ltr Fe:

		Differenzen
$P_{(1/4)}$	= 0,80	
		0,62
$P_{(1/2)}$	= 1,42	
		0,73
$P_{(1)}$	= 2,15	
		0,41
$P_{(2)}$	= 2,56	

Lehrreicher ist der Hinweis auf die mit diesen Zahlen berechneten Kontaktzeiten (Tab. XVII.) gegenüber den direkt beobachteten.

Tabelle XVII.

Berechnete Kontaktzeiten für $^1/_4$, $^1/_2$ und 1 mm Korn.

L	Q	$\frac{L+Q}{Q}$	$P_{(^1/_4)} = 0{,}80$		$P_{(^1/_2)} = 1{,}42$		$P_{(1)} = 2{,}15$	
			entsprechende Werte für x					
			beob.	berech.	beob.	berech.	beob.	berech.
0	1		—	0,80	—	1,42	—	2,15
1	2		0,40	0,40	0,75	0,71	0,90	1,08
2	3		0,24	0,27	0,50	0,47	0,70	0,71
3	4		0,24	0,20	0,35	0,35	1,00	0,54
4	5		0,15	0,16	0,25	0,28	0,70	0,41
5	6		—	—	0,20	0,23	0,36	0,36
6	7		—	—	0,18	0,20	—	—
7	8		—	—	—	—	0,15	0,27
8	9		—	—	0,16	0,16	—	—

11. Einfluss des Eisengehaltes und der Elektrolyte auf die Schnelligkeit der Abscheidung. Anknüpfend an das in IV. 8 Bemerkte ist ein Vergleich der Parameterzahlen für verschiedene Eisengehalte geeignet, einen tieferen Einblick in die ihnen zu Grunde liegende Gesetzmässigkeit zu gewähren. Verhielte sich die Sache so, dass jedes Milligramm Eisen die ebensovielfache Zeit zur Oxydation im Filter erforderte, so müsste der Parameter d. i. die für die Umwandlung von 1 mgr|Ltr nötige Zeit für jede Korngrösse unabhängig von der Konzentration derselbe sein. In Wirklichkeit zeigt es sich, dass umgekehrt der Parameter in eben dem Verhältnis sinkt, als die Konzentration zunimmt, so dass gleiche oder genauer gesagt, nahezu gleiche Werte erfolgen, wenn man den

Tabelle XVIII.

Vergleich der Parameterwerte.

Herkunft	Eisengehalt σ	$P_{(^1/_4)}$	$\sigma P_{(^1/_4)}$	$P_{(^1/_2)}$	$\sigma P_{(^1/_2)}$	$P_{(1)}$	$\sigma P_{(1)}$
Anckelmann's Platz	1	2,42	2,42	2,55	2,55	(?)	
Barmbeck Markt	1					6,67	6,67
Deseniss & Jacobi	4,4	0,80	3,52	1,42	6,25	2,15	9,46
Billwärder a. B.	9	0,30	2,70	0,56	5,04	0,69	6,21
Pätzel-Veddel	20			0,35	7,00	0,38	7,60
Mittel von σP			2,88		5,21		7,49

jedesmaligen Parameter mit der Eisenzahl multipliziert. Das ist in Tab. XVIII. für die 5 in Behandlung genommenen Wässer geschehen.

Die Übereinstimmung für σP ist ausreichend, um den Schluss zu erlauben, dass sie vollständig wäre, wenn nicht andere Umstände störend eingriffen. Solche Umstände sind zunächst in der Zusammensetzung der Wässer zu suchen, wie man sofort an dem aus dem Fabrikhofbrunnen stammenden erkennt. Dasselbe unterscheidet sich auffallend vom Mittel durch höhere Zahlen; es ist nach Tab. I auch das an Bestandteilen reichste. Dasjenige von Billwärder kommt ihm zwar an Trockenrückstand nahe; es fehlen darin aber alle Sulfate. Auch $\sigma P_{(^1/_2)}$ für Pätzel-Veddel ist hoch, obwohl die Sulfate zurücktreten; dafür ist ganz wie beim Hofbrunnen der Index für organische Substanzen sehr beträchtlich.

Dies gibt einen Fingerzeig, nach welcher Richtung die Begleitsalze die Enteisenungszeit beeinflussen. Das Problem aus den Elektrolyten die Abweichungen vom normalen Verlauf herzuleiten ist natürlich viel zu umfänglich, um in wenige Regeln einbezogen zu werden. Die Aufgabe ist um so misslicher, als diese Norm aus den zur Verfügung stehenden Wässern nach der beschriebenen Methode sich nicht einmal scharf festlegen lässt. Die in Tab. XIX und XX zusammengetragenen Versuche beanspruchen keine Lösung der vielen möglichen Fragestellungen zu geben: sie wollen nur andeuten, welche Faktoren praktisch für die Enteisenung von Grundwässern sich wichtig erweisen.

Die Versuchsanordnung ist so zu verstehen, dass jedesmal genau die gleiche Wassermenge mit einem nur wenig geänderten Luftzusatz ein Filter von 70 mm l. W. und 230 mm Höhe passierte, das mit Glasperlen von $^1/_2$ mm Dicke beschickt war. Sein Inhalt war zumeist ungenügend zur völligen Eisenabscheidung, auch änderte sich die Wirkung ein wenig mit zunehmender Verschlammung und bei neuer Schüttung.

Zunächst ist aus Zeile 2 und 3 in Tab. XIX ersichtlich, dass ziemlich beträchtliche Mengen von in Form von Glaubersalz angewandtem Natriumsulfat den Prozess der Abscheidung des Eisenhydrates nicht beein-

Tabelle XIX.

Hofbrunnen.

		Eisen- gehalt	rest	ausfall
1	Q = 0,45 L_0 = 0,555	5,93	3,74	2,19
2	dass. mit 0,01 Mol Na_2SO_4	„	3,54	2,39
3	„ „ 0,02 „ „	„	3,81	2,12
4	„ „ 0,05 „ „	„	3,34	2,59
5	„ „ 0,01 „ $MgSO_4$	„	3,27	2,66
6	„ „ 0,02 „ „	„	3,59	2,34
7	„ „ 0,05 „ „	„	1,84	3,09
8	Q = 0,45 L_0 = 0,616	5,90	3,82	2,08
9	dass. mit 0,01 Mol NaCl	„	3,64	2,26
10	„ „ 0,02 „ „	„	3,66	2,24
11	„ „ 0,05 „ „	„	3,84	2,06
12	„ „ 0,10 „ „	„	3,82	2,08
13	Q = 0,45 L_0 = 0,63	4,78	2,30	2,48
14	dass. mit 0,005 Mol $CaCl_2$	„	2,49	2,29
15	„ „ 0,025 „ „	„	2,31	2,47
16	„ „ 0,05 „ „	„	2,73	2,05
17	„ „ $FeCO_3$	6,67	2,44	4,23
18	„ gekocht mit $FeCO_3$	2,16	0,40	1,76
19	Q = 0,45 L_0 = 0,63	4,74	2,24	2,50
20	dass. mit $BaCl_2$	„	2,48	2,26
21	„ „ Eisenammonsulfat	15,00	8,43	6,50
22	„ „ Eisenvitriol	15,62	9,50	6,12
23	„ gekocht, mit Eisenammonsulfat	9,04	0,55	8,49
24	Q = 0,45 L_0 = 0,808	5,92	3,41	2,51
25	dass. mit $FeCO_3$	18,63	11,81	6,82
26	„ „ „	9,38	5,50	3,88
27	„ „ 0,05 Mol $Ca(NO_3)_2$	5,92	4,50	1,42
28	Q = 0,45 L_0 = 0,808	5,52	3,41	2,11
29	dass. mit Eisenvitriol	20,27	12,09	8,18
30	„ „ „	45,45	30,00	15,45
31	„ „ Eisenammonsulfat	21,12	14,15	6,97
32	„ „ „	41,09	27,52	13,57
33	„ „ $FeCO_3$	12,50	8,02	4,48

Tabelle XX.

Anckelmann's Platz.

		Eisen-gehalt	rest	ausfall
Q 1	= 0,45 L_0 = 0,63	0,70	0,53	0,17
2	dass. mit Eisenvitriol	8,72	0,45	8,27
3	„ „ Eisenammonsulfat	11,81	1,65	10,16
4	„ „ $FeCO_3$	1,86	0,22	1,64
5	„ gekocht, mit $FeCO_3$	2,15	0,33	1,82
6	„ „ „ Eisenammonsulfat	0,33	0,27	0,06
7 Q	= 0,45 L_0 = 0,808	0,87	0,45	0,42
8	dass. mit Eisenvitriol	4,50	0,52	3,98
9	„ „ „	13,16	6,46	6,70
10	„ „ „	43,40	22,35	21,05
11 Q	= 0,45 L_0 = 0,808 abgestanden		0,63	
12	dass. mit $FeCO_3$	7,81	0,90	6,91
13	„ „ „	13,76	0,98	12,78
14	„ „ Eisenammonsulfat	14,70	1,54	13,16
15	„ „ „	30,61	9,04	21,57
16	„ gekocht, mit $FeCO_3$	5,77	1,68	4,09
17	„ „ „ „	14,01	1,92	12,09
18	„ „ „ Eisenammonsulfat	12,00	1,55	10,45
19	„ „ „ „	25,86	3,47	22,39

flussen. Sobald dieselben aber 0,05 Mol überschritten (Zeile 4) trat eine beschleunigende Wirkung ein. Dasselbe, nur in verstärktem Masse, war mit Bittersalz (Zeile 5—7) der Fall. Dabei nahm schon bei 0,01 Mol die Rhodanlösung einen grellroten Ton an, der auf anderweitige Zersetzung hinweist. Man darf aus den Reaktionen dieser Sulfate schliessen (Calciumsulfat war bei seiner geringen Löslichkeit schlecht dazu geeignet), dass die Schwefelsäure an sich im Überschuss zugesetzt die Oxydation des Eisens beschleunigt, und diese Wirkung sich mit der ähnlichen der Magnesia akkumuliert. Kalk an sich scheint sich inert zu verhalten, soweit sich dies aus Zeile 16 und 27 erkennen lässt, oder selbst die Oxydation zu verringern.

Um einen besseren Einblick in die Wirkung der Schwefelsäure zu gewinnen, wurde versucht, dieselbe durch Chlorbaryum zu entfernen (Zeile 20). Ein Unterschied von Zeile 19 ist aber kaum zu bemerken.

Die retardierende oder beschleunigende Wirkung der Jonen wird sonach innerhalb der in natürlichen Wässern vorherrschenden Konzentrationsverhältnisse zunächst nicht erkennbar. Jedenfalls nicht für Chlor und Alkalien. Für zweiwertige Atomgruppen wie Schwefelsäure und Erdalkalien tritt der Einfluss von einem gewissen Punkte ab dagegen deutlich hervor. Es wäre nach den herrschenden Anschauungen von Interesse gewesen, die Wirkung der Kohlensäure in Karbonaten zu beobachten. Ein Zusatz von solchen verbot sich aber von selbst, weil er sofort zu einer Fällung von Eisenhydrat führte. Dass gleichwohl Calciumkarbonat in beträchtlichen Mengen in dem untersuchten Wasser gelöst war, ohne es zu trüben, beweist nur, ein wie delikates Studium solche verdünnte Lösungen erfordern. Findet sich doch auch Schwefelwasserstoff darin ohne es zu schwärzen.

Verschiedene Versuche sind dafür mit künstlich zugesetztem Eisenkarbonat zum Teil in beträchtlichen Mengen angestellt; so Zeile 17, 18, 25, 26. 33. Die drei letzten zeigen die überraschende Tatsache, dass die Eisenausscheidung im selben Verhältnis vor sich geht, wie bei dem natürlichen Wasser. Dasselbe tritt übrigens auch bei anderen Eisensalzen ein, so beim Mohr'schen Salz oder Eisenammoniumsulfat (Zeile 21, 31, 32) und beim gewöhnlichen Vitriol (Zeile 22, 29, 30). Man kann dieses Verhältnis für die gegebene Filtereinrichtung auf rund $m = {}^1/_3\sigma$ festsetzen.

Die Art der Bindung des Eisens, die Natur des Anions oder die Gegenwart fremder Kationen macht somit keinen Unterschied. Es ist in dieser Hinsicht völlig gleichgültig mit welcher Salzform alter Schreibweise man das Eisenatom verkettet denkt. Diese Tatsache, die zunächst von aller Deutung unabhängig dasteht, widerspricht der Auffassung, welche z. B. Schmidt & Bunte [1]) über den Einfluss der Säuren und Lösungsgenossen sich gebildet. Danach sollte $^2/_3$ des als Chlorür, Sulfat, Phosphor, Humat vorliegenden Eisens unoxydierbar in Lösung verbleiben. Es fällt aber alles aus, sofern es nur an Luft und Kontakt nicht fehlt. Dass bei

[1]) L. c. S. 488.

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

dem Glasperlenfilter zufällig zurückgeblieben, entsprach ja nur der jeweiligen Versuchsanordnung.

Hervorheben will ich hier, dass auch ich bei Stehproben ganz anderen Erscheinungen begegnete. Einmal waren viele Resultate widerspruchsvoll und sprunghaft, analog den „Knicken" in den Schmidt & Bunte'schen Diagrammen; auch verhielten sich Salze wie Eisenvitriol und Eisenammoniumsulfat alsdann in der Tat verschieden. Der Grund ist nicht leicht anzugeben. Sicherlich aber darf man von dem Verhalten höherer Konzentrationen nicht ohne Weiteres auf hohe Verdünnungen schliessen, und noch weniger die Einzelwirkung verschiedener begleitender Salze auf ihr Zusammentreffen ausdehnen; dazu sind der Rätsel zu viele.

Ein ganz geringer Anstoss genügt bereits, um auch das beim „Enteisenen im direkten Strom" Zurückgebliebene bis auf kleine Reste zu zerstreuen. Das zeigt in überzeugender Weise Tab. XX. Bei gleicher Filteranordnung und gleichen Beimischungen erlaubt das Anckelmann's Wasser nur ausnahmsweise, wie in Zeile 9 und 10, die Hälfte des Eisens zu retten. Meistens fällt es ohne Weiteres bis auf Bruchteile eines Milligramms aus, zunächst ohne erkennbare Ursache. Man mag das für den Augenblick als eine spezifische Eigenschaft dieses Wassers betrachten. Dieselbe wäre geeignet als Erklärung zu dienen, einmal, weshalb die Aufnahmefähigkeit für Eisen aus dem Erdboden überhaupt beschränkt ist und zugleich wieso einige Wässer, die es doch ebenso reichlich vorfinden als andere nur äusserst wenig davon sich zueignen, wie es eben beim Anckelmannbrunnen der Fall ist. Sofort macht sich an der Luft ein bläulicher Schein darin geltend; und diese leise, aber stetig zunehmende Trübung übt ohne Zweifel einen bedeutenden Einfluss auf die Eisenausfällung. Das zeigt ein Vergleich des besonders frisch verwandten Wassers in Zeile 7—10 mit dem mehrere Tage lang abgestandenen in Zeile 11—15.

Ein anderer Umstand erleichtert die Gelbildung. Im gekochten Wasser äussert sich dieselbe sowohl in Tab. XIX wie XX mit ausserordentlicher Schärfe. Das scheint den Anteil von im Lebensprozess gebildeten Sub-

stanzen an der Verflüssigung des Eisens zu bestärken, erfordert aber begreiflicher Weise neue und feinere Untersuchungsmethoden um darüber ins Reine zu kommen. Dass es sich dabei nicht etwa um die vielgenannte Kohlensäure handelt, widerlegt schon die Reihe von Versuchen mit in kohlensäurereichem Wasser gelöstem Eisenbikarbonat,

Dass die Wärme in Lösungen deshydrierend wirkt, ist bekannt. Daher und nicht etwa von Huminstoffen wie zuweilen vermutet, rühren auch die gelblichen Färbungen martialischer Wässer beim Aufkochen, die beim Erkalten wieder schwinden. Auf die Abbröckelung von Hydratgruppen und -bindegliedern möchte man versucht sein den Einfluss der Elektrolyte zurückzuführen, der eben darum mit der Verdünnung so sehr schwanken muss. Wie freie Säuren im allgemeinen peptisierend, so verhalten alle Salze nach Umständen sich gelbildend zu einander, vor allem aber zu der an Hydrosolkomplexen so reichen Eisenreihe [1]). Intensiver als solche immerhin klare Lösungen wirken nur die Trübungen, und das umsomehr, je feiner und unsichtbarer ihre Maschen gewirkt sind. Das gilt insbesondere für die organischen Keime, die in den natürlichen Wässern die eigentlichen Kernpunkte aller Umsetzungen bedeuten.

Es sei hier an Spring's Abhandlung „Sur la flocculation des matières troubles“ [2]) erinnert. Aus der elektrischen Leitfähigkeit solcher künstlicher Suspensionen folgerte der Verfasser, dass allen Elektrolyten vom gleichen Kation die gleiche Ausfällungsgeschwindigkeit zukommt. Van Bemelen [3]) findet, dass das Gerinnungsvermögen direkt mit der chemischen Valenz zusammenzustellen sei, so dass plurivalente Elemente weit kräftiger dazu beitragen als univalente.

Diese Andeutungen sollen nur zeigen, wie weit dieser Teil der Aufgabe noch von seinem Ziele, für die Mannigfaltigkeit scheinbar widersprechender Erscheinungen

---

[1]) vergl. Biltz. Über die gegenseitige Beeinflussung kolloidal gelöster Stoffe (Ber. d. deutschen chem. Ges. XXXVII 1904 S. 1095)

[2]) Arch. d. Sciences phys. et nat. (IV) X S. 305.

[3]) Die Absorption (Zeitschr. f. anorg. Chemie XXIII 1900 S. 335.)

eine Erklärung zu geben, entfernt ist. Die Begleitsalze nicht nur, noch mehr die unmerkbar feinsten Beimengungen im Wasser beeinflussen seine Lösefähigkeit für das eben darum so sehr bewegliche und an Menge wechselnde Eisen, ohne dass allgemeine Sätze darüber aufzustellen wären.

Im groben mechanischen Sinn aber hängt, wie der Parametervergleich lehrt, die Ausscheidung des Eisens ausser von Luft und Kontakt von dessen Gehalt ab in der Art, dass unter gleichen Umständen stets prozentual gleiche Mengen zurückbleiben.

12. Die Rolle des Sauerstoffes bei der Eisenabscheidung. Unleugbar ist der atmosphärische Sauerstoff bei allen Verfahren, die bewusst oder unbewusst auf vorheriger Belüftung beruhen, die Vorbedingung der eintretenden Veränderung, indem, wie Dunbar[1]) überzeugend nachwies, ohne seine Dazwischenkunft selbst die stärksten Eisenwässer sich beliebig lange klar halten. Da sich nun einfach berechnen lässt, welche Sauerstoffmenge erforderlich ist um 1 mgr|Ltr Eisen zu oxyidieren — 0,14 mgr und ebenso wieviel davon die Löslichkeit der umgebenden Luft dem Wasser in absorbierter Form einzuverleiben vermag — 15,56 mgr|Ltr bei 0° und noch 9,09 mgr|Ltr bei 20° — [2]) so bleibt kein Zweifel, dass die 10,19 bis 6,36 ccm Sauerstoff, welche das Wasser aufzunehmen im Stande ist, vollauf genügen, um jede in Betracht kommende Eisenmenge zu oxydieren. Zwar erfolgt die Durchdringung dicker Wasserschichten mit Sauerstoff etwas träge. Aber die Vorstellung, dass es nur auf ausreichende Belüftung ankomme, bestand doch als Leitsatz zu Recht, seit Oesten[3]) die Zerstäubung im Regenfall als ein vorzügliches Mittel erprobt hatte die Auflösung der Luft im Wasser zu beschleunigen, und auch bei Anwendung gespannter Luft keine Verbesserung erzielen konnte. Anklamm,[4]) der schon 1886 eine schleierartige Ver-

[1]) Zeitschrift f. Hyg. XXII. 1896 S. 90.

[2]) nach W. Winkler's Löslichkeitszahlen (Ber. d. deutschen chem. Ges. XXIV. S. 3602)

[3]) bei Proskauer (Zeitschr. f. Hyg. IX. 1890 S. 170)

[4]) Journal f. Gasb. XLV. 1892 S. 517.

teilung über Treppenstufen vorzog, tritt gleichwohl für die innige Vermischung von Luft und Wasser als wirksames Prinzip ein. Für den Filterkies wurde eine physikalische oder Flächenwirkung zwar eingeräumt aber eigentlich nur für das Zurückhalten, das Anheften, nicht für die Bildung des Oxydes. Bereits aufgelagertes Hydrat begünstigt diese Anziehung wahrscheinlich mehr mechanisch als chemisch. So erweisen sich nach Dunbar[1]) bereits „eingearbeitete“ Filter besonders dankbar: ein Unterschied, den ich bei meiner Versuchsanordnung nicht wahrnehmen konnte.

O. Kröhnke[2]) entging nicht, dass bei Oesten's Verfahren die Oxydation, welche der Piefke'sche Turm vom ersten Angriffspunkt an äussert, in dem Masse tiefer in das Filter hinabsteigt, als der Eisengehalt des Wassers schwillt, bis das Filter endlich völlig versagt; aber Piefke selbst legt der Umspülung mit Luft die entscheidende Rolle im Rieseler bei. Die oben wiedergegebenen Versuche zeigen, dass geradezu die Eisenabscheidung der Luftmenge proportional geht, sie lassen aber zugleich auch den Einfluss der Filterfeinheit auf den gleichen Vorgang erkennen.

Äussert sich nun die letztere nur dahin, dass sie die Luft auch feiner verteilt und inniger mit dem Wasser mischt? Nachdem gezeigt worden ist, wie wenig Sauerstoff von dem vorhandenen eigentlich verbraucht wird, erschien der Überschuss kaum gerechtfertigt. Es blieb sonach zu entscheiden ob dieser Überschuss als solcher oder nur als Mittel zur Erzeugung eines häufigeren, kräftigeren Kontaktes in's Werk tritt.

13. Luftmenge und Kontakt. Falls es nur auf das Spiel der Affinitäten ankäme, so wäre in der Tat nicht abzusehen, welchen Vorteil ein in Blasen durchstreichender Luftstrom vor der ruhigen Sättigung mit gelöstem d. h. verflüssigtem und darum durch die ganze Masse verbreiteten Sauerstoff bieten sollte. Es ist aber bekannt, dass viele Prozesse, selbst wenn alle thermischen, atomistischen und sonstigen Voraussetzungen

---

[1]) L. c. S. 113.
[2]) Die Reinigung des Wassers S. 65.

zutreffen, von einem oft nur kleinen fremden Anstoss abhängen, um die schlummernden Kräfte in Tätigkeit zu bringen. So geschieht es bei der Krystallisation übersättigter Lösungen, beim Verdampfen, bei vielen Explosivstoffen. Das Gleiche trifft für die Eisenausscheidung zu. Man mag annehmen, dass der Übergang der niederen in die höhere Oxydationsstufe sich bereits in der noch ungetrübten Flüssigkeit vorbereitet oder selbst ausgebreitet hätte (der direkte Beweis ist schwer zu erbringen ohne störend in den Hergang der Reaktion einzugreifen) vollendet kann er nur und das fertige Produkt abgetrennt werden durch die Berührung mit einem festen Substrat, sei dies die Gefässwand beim Rieseln oder Absitzen oder eine künstlich potenzierte Kontaktfläche, wie der Filterkies sie bietet. Die innere Reibung genügt nicht, ebensowenig das Durchpressen von Gasblasen. Sonst müsste das nicht völlig von Eisen befreite Filtrat stets trübe ablaufen, während es im Gegenteil unfehlbar klar kommt und beim ruhigen Stehen nur in dem Masse sich bälder verändert, als es eben dem unbelüfteten Rohwasser gegenüber mehr Sauerstoff in Lösung hält. Die Gegenwart von Sauerstoff ist die notwendige Voraussetzung, der Anprall an die Filterwand die direkte Ursache der Eisenabscheidung. Eines oder das andere bleibt unwirksam. Ein bis anderthalb Meter hohe Filter, wie sie Bollmann[1]) vorschlägt, nützen nichts, wenn nicht an jedem Punkte frischer Sauerstoff zur Verfügung steht. Der Oesten'sche Tropfenfall andererseits versagt den Dienst bei eisenreichen Wässern, die in dem gemeinsamen Luft- und Wasserstrom Gramm für Gramm hergeben. Der Satz schien mir wichtig genug, um eine direkte experimentelle Prüfung daran zu wenden.

14. Enteisenung durch Ausschütteln. Zu dem Zwecke nahm ich eine Reihe cylindrischer Gläser von verschiedenen Massen, die alle mit derselben Wassermenge gefüllt auf die Planscheibe einer Drehbank aufgesteckt gleichzeitig umgeschüttelt werden

[1]) Die Enteisenung von Grundwasser (Prospekt).

konnten. Der nicht vom Wasser eingenommene Raum war natürlich Luft. Hing der Erfolg nur von deren Menge ab, so mussten Gefässe gleichen Inhalts, wenn auch verschiedener Länge sich gleich verhalten. War die Flächenwirkung entscheidend, so durfte man bei schmalen und langen Gläsern einen ausgiebigeren Eisenverlust bezw. Trübung erwarten, als bei dicken und kurzen. Bei der Ungleichheit des Aufschlagens, den der Inhalt für 20 Umdrehungen per Minute erfährt, kann von einer rechnerischen Verwertung der Zahlen für den gelöst verbleibenden Eisenrest keine Rede sein; es lässt sich daraus lediglich ein Mehr oder Weniger erweisen.

Die Nummern 1—3 entsprechen einfachen Standgläsern mit geradem eingeschliffenem Deckel,

4 ist ein Messcylinder mit Glasstöpsel,

5 ein Glasrohr mit Gummistopfen verschlossen,

6 ein Lampencylinder mit ebensolchen Enden,

7 das Standglas Nr. 1 mit einem hölzernen Einsatz von gleicher Höhe und 65 mm Durchmesser derart, dass der übrig bleibende Inhalt dem des kleinen Standglases Nr. 3 gleichkam.

8 das Standglas Nr. 2 mit einem aufgerollten Drahtgewebestück im Inneren von 380 × 65 mm

9 das kleine Standglas Nr. 3 mit einem ebensolchen aufgerollten Gewebestück von 450 × 50 mm,

10 das Standglas Nr. 2 mit 100 ccm Glasperlen von $^1/_2$ mm Korn,

11 der Lampencylinder Nr. 6 mit der gleichen Menge Glasperlen.

Die drei ersten Zahlenzeilen lassen erkennen, dass in den kleineren Standgläsern mit kleinerem Luftraum und eben solcher Wandfläche die Eisenabscheidung verhältnismässig geringer war. Der Messcylinder der 4 ten Reihe, der an Raum zwischen den beiden kleineren Standgläsern rangierte, an Wandfläche sie übertraf, ergab ein ungewisses Resultat, das lange Glasrohr Nr. 5, das im selben Sinne, nur ausgiebiger eingerichtet war, bedeutet einen deutlich vermehrten Eisenausfall. Bei dem Lampencylinder Nr. 6, dessen Inhalt grösser, dessen Wandung genau gleich der von Nr. 4 ausgefallen, er-

Tabelle XXI.

Ausschütteln abgemessener Eisenwassermengen

Nr.	Masse weit	Masse hoch	Gesamtinhalt	Luftmenge	Wandfläche	1 Stunde Eisengehalt 6,15		2 Stunden Eisengehalt 5,55		1 Stunde Eisengehalt 5,72		20 Minuten Eisengehalt 4,47		1 Stunde lang Eisengehalt 4,65	
	mm		ccm	ccm	qcm	-rest	-ausfall	-rest	-ausfall	-rest	-ausfall	-rest	-ausfall	rest	ausfall
1	80	165	770	670	517	—	—	0,36	5,19	0,75	4,97	—	—	—	—
2	65	120	398	298	309	—	—	1,38	4,17	—	—	—	—	1,87	2,78
3	55	90	213	113	204	—	—	2,88	2,67	2,38	3,34	2,09	2,38	2,05	2,60
4	38	245	273	173	316	1,55	4,60	0,38	5,17	3,00	2,73	2,11	2,36	2,05	2,60
5	22	660	253	153	463	0,63	5,52	—	—	0,89	4,83	—	—	1,65	3,00
6	46	196	327	227	316	0,15	6,00	—	—	—	—	2,08	2,39	1,32	3,33
7	80	165	213	113	787	—	—	—	—	—	—	1,85	2,62	2,21	2,44
8	65	120	398	298	790	—	—	—	—	—	—	—	—	0,30	4,35
9	55	90	213	113	720	—	—	—	—	—	—	—	—	0,41	4,25
10	65	120	298	198	9189	—	—	—	—	1,44	4,28	—	—	—	—
11	46	196	227	127	9196	—	—	—	—	0,38	4,89	—	—	—	—

folgte wiederum eine ausgesprochene Zunahme, wenn auch zögernd, insofern, als nach 20 Minuten kaum ein Unterschied wahrzunehmen war.

Dabei darf man wohl den rauhen Gummiendflächen besondere Bedeutung zumessen, gegenüber den glatten Glaswänden von Nr. 4. Ähnliches gilt von dem hölzernen, gefirnissten Einsatz in Nr. 7, der die Luftmenge auf $^1/_6$ vermindert, die Wandung auf das $1\,^1/_2$ fache vermehrt; dabei geht der Eisenausfall sichtlich zurück. Ganz anders gestaltet sich das Verhältnis durch die Einführung von Drahtnetzen in Nr. 8 und 9, indem diese nicht sowohl durch die immerhin mässige Vergrösserung der Kontaktflächen sich wirksam erweisen, als durch den beständigen Wechsel von Wasser und Luft in den engen Maschen. Nimmt man im letzten Versuch Nr. 2 mit 8 und 3 mit 9 zusammen, so tritt der ganze Unterschied grell hervor. Den greifbarsten Beweis endlich, dass die Oberflächenzunahme allein wenig tut, wenn die Luft nicht stets von neuem nachdringen kann, liefern 10 und 11, wo der Zusatz von Glasperlen den Kontakt zwar um mehr als das 12 fache anschwellen lässt, ohne von einem solcher Zunahme entsprechenden Erfolg begleitet zu sein; indem die Eisenreste hier merklich hinter denen von 8 und 9 zurückbleiben.

Genau so wie die Perlen zu einer Art Brei mit dem sie durchtränkenden Wasser vermengt umgleiten ohne sich zu trennen, muss man sich den Vorgang in einem Filter denken, das nur von Wasser und nicht zugleich von Luft durchzogen wird. Höchstens bei ganz langsamem Vorrücken ist ein nachträgliches Anheften von Oxydteilchen zu erwarten; der grössere Teil des Eisens, mag man sich denselben nun unverändert im zweiwertigen Zustande, oder bereits oxydiert als Hydrosol denken, bleibt unausgeschieden. Um denselben im gegebenen Augenblick an die ihn in Gel umwandelnde Wand zu nageln, ist freier, nicht gelöster Sauerstoff erforderlich; je reichlicher und je rascher in Bewegung, um so besser. Man ist versucht, die Rolle, die der Gasförmigen Luft zufällt, mit der katalytischen Einwirkung fremder Säuren gegenüber der

viel schwächeren Autokatalyse zu vergleichen, welche die gleichnamige Säure ausübt; ähnlich verhält sich die gelöste Luft zu dem gelösten Eisen. Ausserdem ist bekannt, dsss auch andere Reaktionen sich nur bei bedeutendem Vorwiegen des einen Teils glatt vollziehen (so die Bildung von Schwefelwasserstoff aus den Elementen im Überschuss von Schwefel). Wie sehr ferner auf Gase die Art der umgebenden Hülle von Einfluss ist, hat van't Hoff[1]) gelegentlich der Umwandlung von Knallgas zu Wasser erfahren, als er die Reaktionsgeschwindigkeit im Glas stets unregelmässig, im Porzellanrohr aber der Oberfläche proportional fand.

15. Wechselwirkung von Gas und Flüssigkeit. Es kann nicht fehlen, dass in der Umprägung des Eisenatoms aus einem zweiwertigen zu einem dreiwertigen auf dem angezeigten Wege ausser rein mechanischen noch eine Reihe elektrischer Erscheinungen zu ihrem Recht kommen. Die vermehrte Leitfähigkeit der Luft im Bereiche von Wasserfällen ist schon seit Jahren Gegenstand eifrigen Studiums[2]). Wenn aber wassergesättigte Luft sich ausdehnt, wie dies in der ganzen Länge des Enteisenungsfilters der Fall ist, so kühlt sie sich ab und scheidet das überflüssige Wasser als Nebel aus. Solche Kondensationen entstehen nun nach J. J. Thomson[3]) auch allein schon durch Luftionen, und zwar durch negative reichlicher als durch positive. Beim Durchperlen von Luft durch Wasser und andere Flüssigkeiten zeigte sich eine Erhöhung der Leitfähigkeit der Luft bis aufs zwanzigfache[4]), die Himstedt[5]) der Emanation einer radioaktiven Substanz zuschreibt. Rausch von Traubenberg[6]) hat diese Auffassung jüngst befestigt durch den Nachweis, dass die Emanation dem Dalton-Henryschen Gesetze folgt. Es genügt der Hinweis auf die dabei auftretenden Kräfte, um das energische Spiel der Verwandtschaften zu zeigen, da ja

---

[1]) Nernst, Theoretische Chemie. 4te Auflage. S. 552.
[2]) Vergl Naturw. Rundschau 1904 S. 72.
[3]) Philos Mag. 5 Serie XXXXVI (1898) S. 528.
[4]) ib. 6 Serie IV (1902) S. 352.
[5]) Physikal. Zeitschr. IV. (1903) S. 482.
[6]) ib. V. (1904) H. 130.

die als molekulare Leitfähigkeit λ eines Elektrolyten bezeichnete Eigenschaft der Anzahl der vorhandenen freien Jonen proportional geht.

Zugleich tritt Ozonisation ein, die alle langsamen Verbrennungen sowohl als die Wasserverdunstung begleitet. Die gewöhnlich als „Rosten" bezeichnete allmähliche Oxydation des Eisens ist an die Vermittlung von Wasser und an die Zwischenstufe der Bildung von Wasserstoffsuperoxyd gebunden[1]). Die Zersetzung des letzteren aber erfolgt nach Massgabe der Palladiumkatalyte bimolecular[2]). Das erklärt, weshalb die von Schmidt & Bunte gefundene Konstante der Reaktionsgeschwindigkeit für Eisenbikarbonat zu Anfang sehr unregelmässig sich gestaltete. Von Wichtigkeit ist auch hierfür die Kapillarwirkung, insofern nach van't Hoff[3]) die dadurch „erfolgende lokale Kondensation bei Reaktionen, die durch Volumzerkleinerung beschleunigt werden, bei polymolecularen Reaktionen also, einen beschleunigenden Einfluss übt". Das gilt auch für die Individualisierung des Gelhydrates.

Abgesehen von der hydrolytischen Spaltung der Eisenverbindung, die bei dem hohen Grade der praktisch vorliegenden Verdünnung bereits weit gediehen sein dürfte, „geht die Ansicht der meisten Forscher dahin, dass in dem Hydrosole keine wahre Lösung des Colloids, sondern eine Suspension kleinster Teilchen desselben vorliege".[4]) Besonders mit Bezug auf die Hydroxylosole des Eisens hat Grimaux[5]) darauf aufmerksam gemacht, dass die Gelbildung und dessen später erfolgende Kontraktion unter succesivem Wasseraustritt und Vereinigung mehrerer Moleküle zu grösseren Komplexen erfolge, etwa;

$$2\ Fe_2(OH)_6 = H_2O + Fe_2(OH)_5{-}O{-}Fe_2(OH)_5$$

Die Vorstellung, dass es sich bei dem zuerst gebildeten Hydrosol um eine äusserst feine Verteilung

---

[1]) Dustan in Proceed. of the chem. Soc. IX 1903 Nr. 267.
[2]) Bredig & Fortner in Ber. d. deutsch. chem. Ges. XXXVI. 1904. S. 798.
[3]) Die chemische Dynamik 2te Aufl. S. 205.
[4]) Lottermoser, Über anorganische Colloide S. 68.
[5]) cit. ebda S. 70.

kleinster mit ihren Wasserhüllen in einander greifender Eisenmolekülgruppen handle, die bei dem Zusammenschluss zu Hydrogel jene Hydrosphären und damit ihre Beweglichkeit verlieren, erklärt in bündiger Weise, warum einerseits gelöster Sauerstoff eine so abgeschwächte Wirkung äussert, andererseits auch das freie Gas nur in Verbindung mit einer festen Wand in kürzester Frist dichten, festen Eisenoker erzeugen kann. Man denke sich in die Flüssigkeit ein Drahtnetz von ziemlicher Feinheit gelegt und so viele Gasblasen durch dasselbe tretend, dass jeder Masche eine Blase entspräche, wie ja unmöglich bei der Neigung im freien Strom mit einander zu verschmelzen mehr auftreten können, wohl aber weniger, insofern die Gasmenge und -verteilung überhaupt unzureichend sich erweist. Wenn nun in jeder Masche statt eines Eisenmoleküls, oder ganz unbestimmt gesprochen, Eisenkernes, sich deren hunderte befinden, die als Gel zu einem oder einigen wenigen Einheiten zusammentreten und es zu dieser Verschmelzung der Reibung am Maschengewebe bedarf, so ist klar, dass bei unzureichender Luftzufuhr sowohl als bei zu grober Maschenweite eine Reihe von Eisenhydrosphären dem Angriff sich entziehen, also gelöst bleiben wird, dass es aber andererseits ohne Bedeutung ist, ob 10 oder 1000 solcher Zentren in einem freien Zwischenraum sich befinden, mit anderen Worten: ob der Gehalt an Eisen niedrig oder hoch sich beziffert; falls nur das Netz dicht genug gespannt und das Gas überall hin in jede Pore seinen Weg findet, wird alles Eisen, gleichgültig ob wenig oder viel, in derselben Zeit abgeschieden.

Wie weit nun ein Sand- oder Kiesfilter diesen Bedingungen gerecht wird, verlohnt sich wohl der Mühe etwas eingehender zu verfolgen.

16. Geometrie des Filteraufbaus. Um ein klares Bild von der Raumerfüllung in einem Filter zu gewinnen, lassen sich dessen Elemente nur als richtige Kugeln behandeln, die in der denkbar dichtesten Schüttung zu einander gelagert sind, d. h. so wie Billardbälle, wenn man sie einzeln neben und über einander schichtet und jede ihre natürliche Lage ein-

nehmen lässt. Sie bilden dann eine gleichseitige Pyramide, deren Inhalt zu 25,95 Prozent von Hohlräumen eingenommen wird. Diese Zahl verändert sich nicht mit der Grösse der Kugeln. Über die Form dieser Porenräume gibt Fig. 4 näheren Aufschluss, in welcher zwei Kugellagen sichtbar sind, eine obere voll ausge-

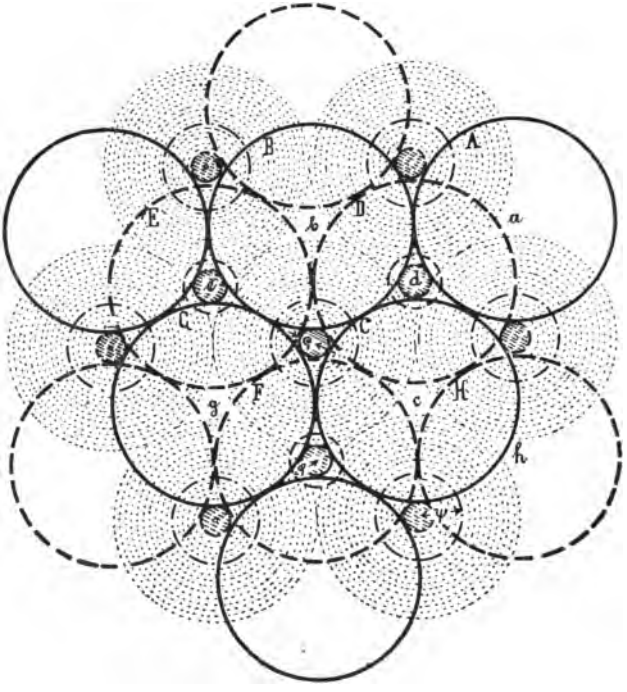


Fig. 4.

zogen, und eine untere gestrichelt angedeutet. Fassen wir die obere Kugel C in's Auge, so entspricht diese offenbar einer Pyramide, deren drei andere Spitzen die Mittelpunkte der daruntergelegenen Kugeln d f und h bilden. Umgekehrt ist d die untere Spitze eines Tetraeders, zu dem die oberen 3 Kugeln A, B und C gehören. Die Kugelmittelpunkte bezeichnen dann jedesmal die Tetraedereckpunkte.

Auf diese Weise bleibt in jeder Tetraederfläche

zwischen den drei Kugelkreisschnitten eine dreispitzige Fläche als engster Durchlass des ganzen Haufwerks vom Inhalt 0,1613 r^2, wenn r den Radius der Kugeln bedeutet. Der diesem Dreispitz einbeschriebene grösste Kreis vom Radius $\varrho = 0{,}153$ r misst 0,0697 r^2, verhält sich also zu den übrig bleibenden Hörnerspitzen wie 10:13. Da die Eintrittsfläche in ein Filter durch dieses Dreispitz bestimmt wird, so ergibt sich der offene Querschnitt hier zu kaum $^1/_{10}$ des gesamten, während doch der Gesamtporenraum eines Filters immer mehr wie $^1/_4$ des Gesamtinhaltes darstellt. Das bedeutet eine scharfe Kontraktion beim Beschreiten und Expansion beim Verlassen des Filters.

Aber auch innerhalb desselben schwanken die Durchgangsquerschnitte erheblich. Zwar bleibt der im Inneren eines Tetraeders verfügbare vierzipfelige Raum immer gleich; die einschreibbare Kugel besitzt den Radius $\varphi = 0{,}225$ r. Aber die einzelnen Tetraeder können ihrer Natur nach nicht so zusammentreten, dass auch zwischen ihnen stets der gleiche Raum sich hielte. Fasst man die einer bestimmten Kugel C benachbarten in's Auge, so stellt sich heraus, dass in einer Ebene genommen abwechselnd drei den Radius φ und drei andere den Radius $\psi = 0{,}442$ r also fast den doppelten tragen. Erstere beispielsweise zwischen a, b, c, d, letztere zwischen b, c, g, d, e, f, also von 6 statt 4 Kugeln eingeschlossen. Drei davon gehören der oberen, drei um 60° zu jenen versetzt der unteren Schicht an.

Das Verhältnis erscheint für's erste noch symmetrisch, insofern innerhalb der beiden betrachteten Schichten die Porenräume vom Radius φ mit solchen vom Radius ψ regelmässig nach allen Richtungen wechseln. Sobald man indess die Betrachtung auf eine weitere Schicht ausdehnt, oder was damit gleichbedeutend ist, sobald man ausser dem Grundriss auch den Aufriss der Kugellagerung beachtet, wird sofort offenbar, dass ohne Störung der äusseren Symmetrie, die grossen Poren ebensogut über einander als neben oder vielmehr schief zu einander aufgereiht sein können. Um dies anschaulich zu machen, braucht man nur im Geiste Kugel um Kugel auf die obere Schicht aufzulegen. Da jede na-

türlich in die nächste Vertiefung rollt, d. h. mit den vorhandenen Kugeln Tangenten von 120° bildet, so lässt sich die erste Kugel ebenso gut über d als über der unbenannten Lücke zwischen B, C, G verlagern. In jedem von beiden Fällen ist mit dem ersten Wurf die Lage aller übrigen Kugeln derselben Schicht bestimmt. Trifft ihr Mittelpunkt in der Senkrechten mit d zusammen, so wiederholt sich nach oben genau das Gleiche wie nach unten. Daraus folgt, dass die Räume φ sowohl wie ψ als ebensoviele Schlote (immer freilich mit den Verengerungen auf ϱ) gerade durchziehen. Gegenteils entsteht eine in der Zeichnung durch Punktierung angedeutete Anordnung, bei der an φ ein ψ anschliesst und umgekehrt.

Dasselbe Spiel kann sich nun beliebig oft wiederholen. Immer finden die weiten Kammern ψ rosenkranzartig ihre Fortsetzung und es kann sich nur darum handeln, ob diese scharf in den Vertikalen vom Boden zur Decke durchzieht, was ein Grenzfall wäre oder mehr oder weniger gewunden emporsteigt. Eine gewisse Ungleichheit der Verteilung und was wichtiger erscheint, der Berührung von Luft und Wasser je nach den Räumen φ und ψ wird nie zu vermeiden sein. Es muss auch rein geometrisch genommen (also abgesehen von Rissen, Kolken und Höhlungen) zutreffen, dass längere Strecken hindurch die Luft durch lauter ψ Kammern streift, in denen sie sich offenbar schwerer bewegt als in den zu rascherer Verteilung zwingenden schmäleren φ Kammern. Umgekehrt wühlt ein Übermass von Luft auf den ψ Wegen wie in ebensoviel Rohrsträngen sich durch, ohne die weitere Umgebung merklich zu beeinflussen. Darum stellt sich über einen gewissen Grad hinaus jede Steigerung der Luftzufuhr als zwecklos heraus.

Da aber, wie schon gezeigt, nicht die Berührung von Luft und Wasser sondern der Anprall beider an der Filterwandung entscheidet, ist es wohl angebracht, auch diesen Vorgang auf seinen einfachsten Ausdruck zu bringen.

Vorher eine kurze Übersicht der hauptsächlichsten Zahlenverhältnisse für verschiedene Filterkorngrössen

	¼ mm	½ mm	1 mm
Zahl der auf einem m² belegenen Kugeln	18,400,000	4,600,000	1,150,000
Zahl der in einem m³ enthaltenen Kugeln	90,880,000,000	11,280,000,000	1,410,000,000
Gesamtoberfläche dieser Kugeln	17760 m²	8880 m²	4440 m²
Fläche des Spittels zwischen 3 Kugeln	0,0025 mm²	0,01 mm²	0,04 mm²

17. Mechanismus der Luftbewegung im Filter. Der öfter betonte Luftüberschuss ist natürlich nicht dahin zu verstehen, als ob der chemische Teil des Oxydationsprozesses davon abhinge etwa so wie die Esterbildung von den Hydroxylionen; er dient wesentlich der Bewegung, der energischen Durchrührung der Wassermasse. Man könnte danach die atmosphärische Luft zum grösseren Teil durch ein indifferentes Gas, etwa Kohlensäure ersetzen, was besonders bei Säuerlingen, denen ihr moussierender Charakter gewahrt bleiben soll, in Frage kommt. Das gleichzeitige Vorrücken von Luft und Wasser im Filter ist nur dadurch möglich, dass einzelne Luftblasen abgeschnürt werden, diese Trennung erfolgt in den engsten Stellen: das sind die Dreispitzdurchlässe vom Radius ϱ. Man darf daraus schliessen, dass die einzelnen Blasen selbst, die als Kugeln gelten mögen, grössere Durchmesser haben, der Regel nach nicht grösser als 2 ψ, weil sie sonst durch verschiedene Porenräume hindurchragen, also neuerdings geteilt werden müssten. Die Winkel an den Berührungsflächen der Sandkugeln, sowohl in den vierhörnigen Porenkammern um φ als um die achtförmigen um ψ halten hartnäckig durch Capillarität einen Rest von Wasser zurück, das nur unter der Gewalt der entstehenden Wirbel an den Hauptstrom sich anschliesst.

An Menge ist dieses sozusagen tote Wasser übrigens so gering, dass, falls man es über alle Sandkörner ausbreiten könnte, es deren Durchmesser nur um ein Hundertstel etwa erhöhen würde. Diese Berechnung gründet sich darauf, dass beim selbsttätigen Entleeren eines Luftwasserfilters nur 2—4 Volumprozente (Korngrössen von ¼ bis 1 mm vorausgesetzt) darin sich

halten. Daraus ergibt sich, dass in Wirklichkeit nur die Winkel benetzt bleiben, und der grössere Teil der Körneroberfläche abwechselnd von Wasser und Luft getroffen wird.

Die Luftkugeln, was auch immer ihre Abmessungen seien, bewahren dieselben aber nicht auf ihrem Wege durch das Filter, sondern wachsen im Verhältnis als der Anfangsdruck abnimmt. Dieses Anschwellen begünstigt den gewünschten häufigen Kontakt; denn während sie anfänglich mit Vorliebe aus einem ψ Raum in den anderen gleiten und die φ Räume vermeiden können, werden sie weiterhin in dem Masse als ihr Volumen zunimmt alle dargebotenen Poren ununterschiedlich bestreichen. Wenn es anginge einer bestimmten Wassermenge die doppelte Luftmenge beizumengen ohne den Filterdruck zu erhöhen, so erhielte man die doppelte Menge Kugeln und somit doppelten Kontakt. Die Enteisenung steigt aber in solchem Falle keineswegs proportional der Luftmenge, sondern in weit geringerem Grade. Das erklärt sich einmal aus dem wachsenden Druck und entsprechend kleineren Kaliber der Luftblasen; es bietet aber auch eine doppelt so grosse Kugel nur etwa die anderthalbfache Oberfläche. Nämlich

2fache	Grösse	=	1,26facher	Durchm.	=	1,58fache	Fläche	
3	„	„	1,44	„	„	2,07	„	„
4	„	„	1,59	„	„	2,52	„	„
5	„	„	1,71	„	„	2,92	„	„
6	„	„	1,82	„	„	3,31	„	„

Das heisst die Unterschiede der wirksamen Dimension werden immer geringer.

Richtiger wäre es mit Rücksicht auf die Einschnürungen in den Pässen ϱ statt der Kugelgestalt für die Luftperlen die Form einer Sanduhr anzunehmen. Dann ergibt sich, wenn man einen Zylinder vom Radius ϱ gleichen Inhaltes mit der Kugel vom Radius ψ zu Grunde legt, dessen Höhe h:

$$h\ \varrho^2\pi = {}^4|_8\ \psi^3\pi$$
$$h = {}^4{}_3\ \psi^3/\varrho^2$$
$$= 32{,}52\ \varrho$$

Der ganze Abstand von einem Pass ϱ zum anderen misst indessen nur 11,31 ϱ. Dementsprechend wächst die Geschwindigkeit in den Verengerungen, mit ihr die Strudelbildung und der Niederschlag an Eisenhydrat, der sonach nur jedesmal an die obere Durchtrittsstelle zwischen 3 Sandkugeln sich anlegt und die Unterseite, wo der Strom sich aufweitet oder gar abreisst, freilässt.

Ferner übersieht man auf einen Blick, wieso ein feineres Korn bei gleicher Luftmenge ein günstigeres Resultat ergeben muss. Die Bläschen sind hier gezwungen sich mehr zu verteilen, häufiger sich einzuschnüren und den Niederschlag sicherer abzusetzen. Ausserdem ist bei geringem Eisengehalt leichter Gelegenheit geboten das betreffende Molekül sicher zu treffen und in das unlösliche Gelhydrat überzuführen.

18. Druckverhältnisse im Filter. Temperatur und Druck üben einen beträchtlichen Einfluss auf die Bewegung des Wassers in Kanälen und Röhren und nicht minder im Sandfilter. Hagen[1]) veranschlagt die Wirkung der Erwärmung dahin, dass jeder Grad eine Steigerung der Ergiebigkeit des Filters um nahezu 4 Prozent bedeutet. Gleichwohl kann die Rolle der Temperatur hier ausser Betracht bleiben, da die grosse Wärmekapazität des im Allgemeinen gleichmässig temperierten Wassers für alle etwa verbrauchte oder frei werdende Wärme unbemerkt aufkommt.

Anders steht es mit dem Druck. Eine gewisse Pressung ist, wie bereits hervorgehoben, wenn nicht zum Filtern überhaupt, jedenfalls zur guten Mischung von Wasser und Luft unentbehrlich. Unter Druck ist dann der Überdruck zu verstehen, welcher auf dem Filter lastet, und dessen Verhältnis zur Filterhöhe, also zu dem von Wasser und Luft gemeinsam zurückzulegenden Wege, dem Gefälle entspricht. Der Anschaulichkeit zu Liebe sei im Nachstehenden stets als Einheit der Filterhöhe 1 Meter vorausgesetzt und das Gefälle dann unmittelbar in Atmosphären gegeben. Dass die Geschwindigkeit des Wassers (um auf dieses zunächst

[1]) bei Rühlmann, Hydromechanik. 2te Auflage S. 553.

die Betrachtung zu beschränken) wenn es frei den Raum zu durchmessen hätte, sich jedesmal aus der Quadratwurzel der Fallhöhe berechnen liesse, war schon vor anderthalb Jahrhunderten dem Wasserbauverständigen Brahms[1]) klar. Aber er wusste auch, „dass wenn ein abfliessendes Gewässer in der Schnelligkeit nicht immerfort zunimmt. dieses daher rührt, dass es durch Friktion und Klebrigkeit Aufenthalt erleidet.“ Wird so im offenen Fluss die aus dem Gefälle herrührende Beschleunigung aufgezehrt, so kann im Filter überhaupt vom Wachsen des Durchflusses über ein gewisses Mass hinaus keine Rede mehr sein. Der innere durch Wirbelung erzeugte zusammen mit dem äusseren Widerstand an den Porenwänden erfordern einen besonderen äusseren Überdruck, wenn grössere Mengen durchgesetzt werden sollen. Es ist Darcy's[2]) Verdienst nachgewiesen zu haben, dass in Sandfiltern die Strömungsgeschwindigkeit der einfachen Druckhöhe proportional geht, umgekehrt der Filterdicke. In Übereinstimmung damit befindet sich Poiseuille's[3]) Ableitung aus seinen Versuchen mit Capillarröhren, mit denen er die Gesetze des Blutkreislaufs zu erforschen sich bemühte. Was Rostalski[4]) auch für die Verzweigung von Capillaren bestätigte.

Alle späteren Beobachtungen haben dieser Auffassung wenigstens für die Filtrationsgeschwindigkeiten, welche bei der Enteisenung in Frage kommen, Recht gegeben. Nur die Luft als Begleiter bringt eine gewisse Verwirrung mit sich. An und für sich würde der Durchtritt von Luft in so verhältnismässig kleinen Mengen durch noch so feine Sandporen kaum einen Überdruck zu Stande bringen. Wohl aber erhöht sich der vom Wasser herrührende Druck sehr merklich sobald Luft demselben beigemengt wird. Da nun die Wege, die jedes der beiden Elemente wählt, zunächst

---

[1]) Anfangsgründe der Deich- und Wasserbaukunst cit. von Rühlmann l. c. 396.

[2]) Les fontaines publiques de la ville de Dijon (1856) S. 559.

[3]) Annales de Chimie et de Physique III série VII (1843) S. 59.

[4]) Die Erweiterung des Poiseuille'schen Gesetzes — Diss. Breslau 1878.

unbekannt sind, erscheint es am geeignetsten, die Wirkung jedes einzelnen für sich zu prüfen. Das geschieht am einfachsten durch Beobachtung der zum Filtrieren einer bestimmten Wassermenge allein erforderlichen Manometerstände und allmähliches Zugeben gemessener Luftmengen. Es handelt sich natürlich, wie oben bei der Ermittelung der Kontaktzeit $\varkappa$, um mittlere Luftvolumina mit all den Ungenauigkeiten, die deren Zugrundelegung einmal bedingt.

Am reichhaltigsten und auch am zuverlässigsten bieten sich die Angaben für $^1/_2$ mm Korn dar. Eine Auswahl der besten unter sich vergleichbaren Nummern davon umfasst das Diagramm C. Die einzelnen Kurven bedeuten gleiche Wasserquanten, die Abszissen Luftmengen, ebenfalls in Litern per Minute, die Ordinaten Atmosphären.

Es erhellt sofort, dass die Drücke gut dem jedesmaligen Wasserdurchfluss entsprechen. Sobald Luft hinzutritt, erheben sich die Schaulinien anfangs ziemlich gleichförmig, später um so steiler je mehr Wasser mitgeht, so zwar, dass alle nach rechts auseinanderstreben.

Hält man sich statt der Mengen an die betreffenden Geschwindigkeiten, so lässt sich das Diagramm durch die nachstehende kleine Tabelle ersetzen, in welcher zunächst in zwei Hälften unabhängig von einander die Werte für Q und L erscheinen. Mit Rücksicht auf die gefundene Divergenz der Druckstrahlen für die hindurchtretende Luft müssen indessen die Horizontalreihen in der Weise auf einander bezogen werden, dass z. B. für $v_L = 0{,}1$ m|Min. die Zahl der ersten Zeile mit 0,09 Atmosphären gilt, wenn $v_Q = 0{,}1$ m|Min.; aber 0,10 bezw. 0,11 für $v_Q = 0{,}2$ bezw. 0,3.

Tabelle XXII.

Filterdrücke für $^1/_2$ mm Korn.

			p_L			
v_Q	p_Q	$v_L =$	0,1	0,2	0,3	0,4
0,1	0,31	0,09		0,16	0,19	0,21
0,2	0,62	0,10		0,18	0,23	0,26
0,3	0,93	0,11		0,19	0,25	0,29

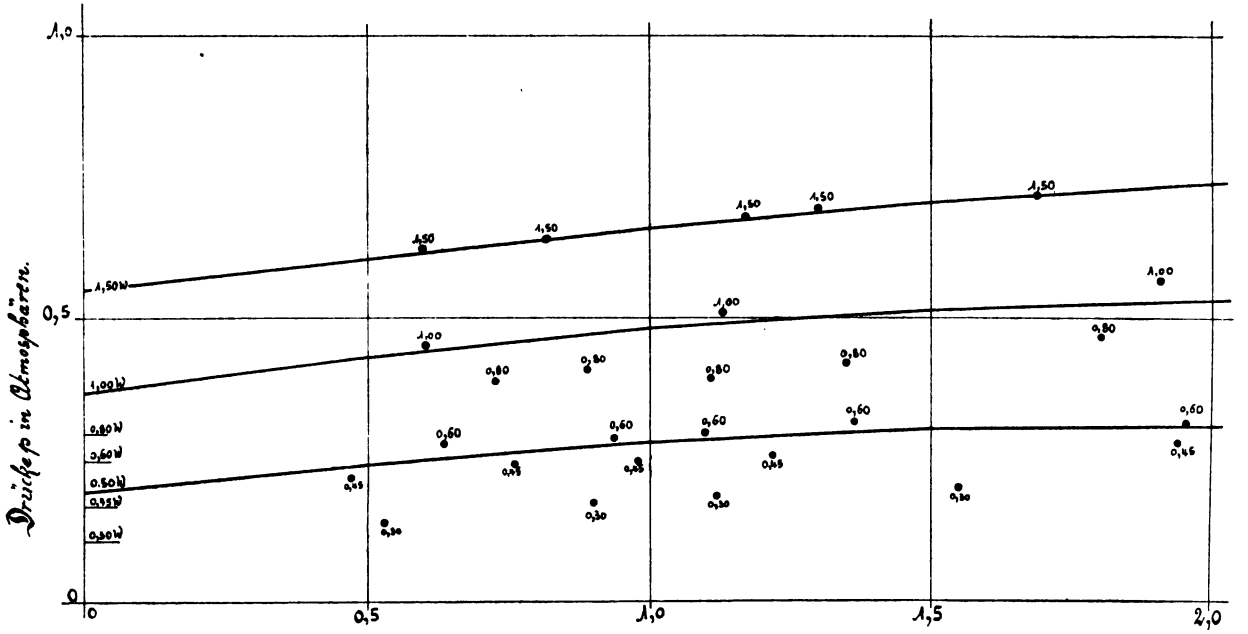

1,0
0,5
0
Drücke in Atmosphären.
1,50 W
1,00 W
0,80 W
0,60 W
0,50 W
0,25 W
0,30 W
0
0,5
1,0
1,5
2,0
Luftmenge L in Litern pro Minute.

Diagramm C.

Der Sinn dieser Zusammenstellung ist somit dahin zu verstehen, dass eine Filtermächtigkeit von 1 m vorausgesetzt, eine Wassergeschwindigkeit von 0,1 m|Min, einen Drucküberschuss am oberen Filterende von 0,31 Atmosphären bedingt. Kommt dazu noch eine auf den vollen Filterinhalt ausgeschlagene (als ob weder Kies noch Wasser darin sich fände) Luftgeschwindigkeit von 0,1 m|Min, so steigt der Druck auf $0{,}31+0{,}09 = 0{,}40$, bei $v_Q = 0{,}2$ auf 0,47 Atm. Für dünnere oder (immer der Stromrichtung nach) dickere Filter als 1 m, genau proportional.

Aus den später eingehend besprochenen Versuchen im Grossen folgt übrigens laut Tab. XXVIII (gleiche Druckverluste für den Lufteinschuss vorausgesetzt) eine etwas höhere Zahl für $v_Q = 0{,}1$, nämlich 0,50 statt 0,31. Masoni's [1]) Versuche mit 0,54 mm starkem vulkanischem Sand ergeben dafür 0,40. Der Unterschied rührt vermutlich von der Filterweite und dem entsprechend zunehmenden Eintrittswiderstand her, der nicht besonders berücksichtigt worden ist. Man wird klug tun bei Berechnungen den grösseren Wert zu Grunde zu legen.

Bei höheren Geschwindigkeiten als die für den vorliegenden Zweck praktisch verwertbaren wachsen die Drücke rascher. Nach Masoni sogar sehr bald.

Für $^1/_4$ mm Sand vermochte ich keine klaren Luftdrücke festzustellen, indem die Luft oft stossweise und unregelmässig kam, als ob sie unbestimmte Durchlässe sich wühle. Selbst für den Wasserstrom ist die Gefahr „falscher" Wege nicht ausgeschlossen.

Tabelle XXIII.

Filterdrücke für $^1/_4$ mm Korn.

v_Q	p_Q
0,1	0,80
0,2	1,65
0,3	2,60

[1]) Di alcune determinazioni sperimentali sui coefficienti di filtrazione bei Forchheimer l. c. S. 1781.

Tabelle XXIV.

Filterdrücke für 1 mm Korn.

v_Q	p_Q	v_L =	p_L 0,1	0,2	0,3	0,4
0,1	0,07	—		—	—	—
0,2	0,14	0,03		0,05	0,09	0,12
0,3	0,21	—		—	—	—
0,4	—	0,05		0,09	0,12	0,15

Die Unvollkommenheit von Tab. XXIII für $^1/_4$ mm Korn zeigt sich auch in der Abweichung von der Regel, wonach die Durchlässigkeit im umgekehrten Verhältnis zum Quadrat der Korndurchmesser wachsen müsste, was für $^1|_2$ und 1 mm Korn annähernd zutrifft, und woraus sich für mittlere Korngrössen die entsprechenden Werte berechnen lassen.

Nach den Betrachtungen, auf welche die gleichzeitige Bewegung von Wasser und Luft durch den Filtersand uns hingewiesen, stand zu erwarten, dass ein Anwachsen des Druckes im allgemeinen den Eisenausfall beeinträchtigen müsse, indem dadurch das Luftvolumen verkleinert und die Flächenberührung beschränkt wird. Eine direkt hierauf gerichtete Versuchsreihe ist in Tab. XXV niedergelegt. Dabei ist bei gleicher Wasser- und nur wenig schwankender Luftmenge der absolute Druck im Filterinnern durch Drosselung des Austrittes abwechselnd um etwa $^1|_2$ Atmosphäre erhöht.

Ein Unterschied ist nicht zu bemerken wenn man

Tabelle XXV.

Hofbrunnen.

1 mm Korn — Filter 80 mm weit, 600 mm hoch

Nr.	Q	L_0	L	L/Q	p	Eisengehalt	Eisenrest	Eisenausfall m
1	0,45	1,31	1,20	2,67	0,19	4,91	0,11	4,80
2	„	1,23	0,88	1,96	0,80	„	0,12	4,79
3	„	1,08	1,00	2,24	0,17	„	0,10	4,81
4	„	1,13	0,82	1,80	0,76	„	0,09	4,82

die Luftmengen und nicht die Volumina beachtet: die kleinen Abweichungen liegen innerhalb der Fehlergrenzen. Auch die Geschwindigkeit der Wiedervereinigung von Gasionen wurde von Mac Clung[1]) vom Druck unabhängig gefunden.

19. Versuche im Grossen. Alle in den früheren Tabellen niedergelegten Beobachtungen haben den Mangel, dass sie in kleinem Massstab gewonnen zur Beurteilung praktischer Verhältnisse kaum ausreichen. Wenigstens ist der Zweifel berechtigt, ob die daraus geschöpften Erkenntnisse auch ohne Weiteres in's Grosse sich übertragen lassen. Dem kann nur die direkte Erfahrung abhelfen.

Zunächst lag es nahe, an einer Handpumpe die Richtigkeit der Hauptsätze aufzuweisen. Aber abgesehen davon, dass es schwer ist bei dem unzuverlässigen Angriff von Muskelkraft bestimmte Wasser- und Luftmengen überhaupt zu messen oder vielmehr so zu messen, dass sie mit der zugehörigen Wasserprobe auch zusammenfallen, einen bestimmten Druck und sei es auch nur als Ausweis der angedeuteten Übereinstimmung festzuhalten, erwies sich als ganz untunlich. Gleichwohl war klar zu erkennen, dass bei nahezu gleichen Wasser- und Luftmengen, ein Filter von 330 m Weite zu 1 m Höhe mit 1 mm Korn gefüllt den Eisengehalt von 4,7 mgr/Ltr des Hofbrunnenwassers bei einer Leistung

von 4,6 ltr/Min auf 0,25 mgr/Ltr. Fe
9 „ „ 0,53 „
24 „ „ 0,92 verminderte

ebenso bei $^1/_2$ mm Korn zu 1,50 m Höhe im selben Filter, bei einer Leistung

von 9 ltr/Min auf 0,08 mgr/Ltr Fe
16,5 „ „ 0,18 „
23,4 „ „ 0,25 „

Es war schon notwendig Luft- und Wasserpumpe so aufzustellen, dass sie unabhängig von einander geregelt werden konnten und das Ganze von einer ununterbrochen umlaufenden Transmission aus in Bewegung zu setzen. Wasser sowohl wie Luft mussten jedes-

[1]) Philos. Magaz. 1902 Serie 6, vol. III. S. 283.

mal aufgefangen und direkt gemessen, das Verfahren auch innerhalb einer oder zweier Stunden zur Kontrolle wiederholt werden. Die nachstehenden 4 Tabellen beziehen sich sämtlich auf den Fabrikbrunnen, weil allein für solche Vorrichtung erreichbar. Die Zeit betrug niemals weniger als 1 Stunde, das Filterkorn $^1|_2$ mm.

Die erste der verzeichneten Tabellen zeigt kaum Spuren von Eisenausfall. Die Geschwindigkeit des Durchgangs ist eben viel zu gross, wie sich das schon in den hohen Drücken ausspricht. Nicht viel besser erscheint die zweite. Die dritte gibt dagegen viele, die vierte nur befriedigende Resultate. Man beachte, dass der Filterinhalt von Nr. 10—17 der Tab. XXVIII nicht nur übereinstimmt mit Nr. 1—6 der Tab. XXIX; es ist wirklich auch derselbe Sand benutzt. Die Eisenreste sind in der letzteren nur unbedeutend verkürzt gegenüber der

Tabelle XXVI.

Hofbrunnen.

$^1/_2$ mm Korn — Filter 108 mm weit, 0,5 m hoch,

Nr.	Q	L_0	L	L/Q	p	Eisengehalt	Eisenrest	Eisenausfall m
1	13,0	14,6	6,4	0,49	2,8	2,73	2,50	0,23
2	13,3	15,7	6,9	0,52	2,9	2,83	2,38	0,45
3	19,2	23,0	9,0	0,47	4,1	2,90	2,53	0,37
4	27,3	32,7	9,7	0,35	5,6	2,78	2,46	0,32

Tabelle XXVII.

Hofbrunnen.

$^1/_2$ mm Korn — Filter 223 mm weit, 0,5 m hoch

Nr.	Q	L_0	L	L/Q	p	Eisengehalt	Eisenrest	Eisenausfall m
1	12,8	13,6	7,8	0,61	1,6	2,68	2,29	0,39
2	20,4	18,3	9,1	0 45	2,4	2,83	2,27	0,56
3	23,8	22,2	7,9	0,33	4,2	2,63	2,09	0,54

Tabelle XXVIII.

Hofbrunnen.

$^1/_2$ mm Korn — Filter 330 mm Durchmesser.

Nr.	Filterhöhe	Q	L_0	L	L/Q	p	Eisengehalt	rest	ausfall
1	0,5 m	12,7	19,3	15,7	1,24	0,45	2,38	1,60	0,78
2	„	17,5	21,0	15,0	0,86	0,8	2,68	(1,92)	(0,76)
3	„	20,0	27,0	19,0	0,95	0,9	2,62	1,88	0,74
4	„	27,8	32,0	20,0	0,72	1,3	2,68	(2,26)	(0,42)
5	„	28,5	18,0	11,5	0,36	1,1	2.38	1,89	0,49
6	1,0 m	12,3	14,0	10,0	0,81	0,75	2,60	0,48	2,12
7	„	20,0	22,0	13,3	0,67	1,5	2,68	1,17	1,51
8	„	26,5	16,3	9,0	0,34	2,1	2,38	1,22	1,16
9	„	28,0	30,0	15,3	0,55	2,4	2,62	1,17	1,45
10	1,5 m	12,3	19,3	12,4	1,02	1,2	2,42	0,42	2,00
11	„	13,0	19,0	12,7	0,98	1,1	2,83	0,33	2,50
12	„	20,8	27,8	14,7	0,69	2,0	2,63	0,91	1,72
13	„	20,5	35,5	19,2	9,94	2,0	2,73	0,75	1,98
14	„	20,5	84,0	42,0	2,08	2,6	2,38	0,42	1,96
15	„	27,0	50,0	25,0	0,93	2,7	2,83	0,83	2,00
16	„	27,5	37,5	19,9	0,72	2,6	2,42	1,01	1,41
17	„	28,0	25,2	12,8	0,46	2,6	2,63	1,06	1,57

Tabelle XXIX.

Hofbrunnen.

$^1/_2$ mm Korn — Filter 500 mm Durchmesser.

Nr.	Filterhöhe	Q	L_0	L	L/Q	p	Eisengehalt	rest	ausfall
1	0,66 m	12,0	20,3	18,2	1,51	0,23	3,26	0,28	2,98
2	„	12,2	29,0	25,8	2,12	0,25	4,35	0,35	4,00
3	„	20,0	31,0	25,5	1,27	0,42	3,06	0,74	2,32
4	„	20,5	31,0	25,0	1,22	0,48	3,06	0,80	2,26
5	„	27,0	35,0	26,4	0,98	0,65	2,80	1,02	1,78
6	„	27,5	36,5	27,6	1,0	0,65	2,63	0,85	1,78
7	1,00 m	12,0	23,5	20,5	1,71	0,3	2,45	Spur	2,45
8	„	13,0	25,0	21,7	1,66	0,3	3,21	0,20	3,01
9	„	18,8	30,0	23,5	1,25	0,55	2,41	0,45	1,96
10	„	20,0	32,5	24,0	1,20	0,62	3,14	0,48	2,66
11	„	26,0	40,0	27,6	1,06	0,9	2,73	0,32	2,41
12	„	28,0	44,5	31,8	1,13	0,8	2,89	0,38	2,51

ersteren, wenn man gleiche Wasser- und Luftmengen in Vergleich zieht, trotzdem die mittleren Volumina der Luft in Tabelle XXIX bei den kleineren Drücken und damit L/Q bedeutend grösser ausfallen. Diese relative Luftzahl erreicht nach der Anordnung des Versuchs nur selten die Einheit. Sobald sie sich ihr wenigstens nähert, erscheint der Enteisenungsprozess deutlich aufgebessert. Die Wirkung steigender Luftzufuhr ist ohne Weiteres wahrnehmbar in Nr. 12—14 Tab. XXVIII. und in umgekehrter Folge in Nr. 15—17 daselbst. Ebenso geht der Eisenausfall deutlich mit Steigerung des durchgesetzten Wasserquantums zurück in 1—6 und 7—12 Tab. XXIX. In 5 und 6 überschreitet der Eisenrest bereits die Grenze des Zulässigen, in 11 und 12 ist er bei gleicher Wassergeschwindigkeit noch beträchtlich davon ab; was sich aus dem Filterinhalt erklärt, der bei gleichem Querschnitt das eine Mal 0,127m³, das andere Mal 0,193 m³ betrug.

Der Grund, weshalb das Rohwasser an sich so niedrige Eisenwerte aufwies, ist nicht ganz klar. Das Saugerohr tauchte indess nur wenig unter den Wasserspiegel und wurde später mit einem längeren vertauscht.

Wo mir Gelegenheit gegeben war bei einer der zahlreichen Ausführungen von Enteisenungsanlagen nach diesem Prinzip Roh- und Reinwasser neben einander zu stellen, trat mit gleicher Schärfe die sichere Wirkung hervor.

So z. B. in

	roh		rein	
Reinbek 17. Jan. 1904	1,40	mgr/L Fe.	0,20	mgr/L Fe.
Bremen 14. April 1904	1,57	„	0,08	„
Grossborstel 6. Juli 1903	1,71	„	Spur	„
Meinersen (23. April 1904	5,68	„	0,11	„
Meinersen (18. Juni 1904	7,14	„	0,35	„
Niendorf 13. Febr. 1904	6,28	„	0,25	„
Dömitz 21. März 1904	6,60	„	0,05	„
Nienstedten 16. Mai 1904	13,64	„	0,13	„
Gramlinger Sauerbrunn 3. Mai 1904	25,42	„	1,38	„

Das letzte Muster entspricht einem böhmischen Kohlensäuerling, der an der Luft sofort sich trübt, nach der Behandlung aber dauernd klar blieb.

20. Zusammenfassung der Ergebnisse. Dass die Luftmenge, welche sich aus dem zur Oxydation des vorhandenen Eisens nach Äquivalentgewichten notwendigen Sauerstoffverbrauch berechnet, nicht hinreicht, um den Umwandlungsprozess rasch und scharf zum Abschluss zu bringen, ist das Fazit aller mit Rieselern, Zerstäubern oder ähnlichen Belüftern arbeitenden Apparate. Der Grad der in bestimmter Frist erreichbaren Eisenabscheidung wird dadurch schwankend und Zufälligkeiten unterworfen. Erst bei Aufwendung eines Luftüberschusses gelingt es die Zeit praktisch auszuschliessen und bei im übrigen gleicher Anordnung stets die gleichen Resultate sicher zu stellen. Bezeichnet Q die Wasser-, L die Luftmenge, so gilt als Vorbedingung: $L|Q > 1$.

Die innige Mischung von Luft und Wasser erfolgt am besten in einem geschlossenen Sandfilter, zu welchem der gemeinsame Strom am einen Ende ein-, am anderen austritt (4). Dabei geht das gelöste Oxydul nicht allein in Oxyd über, es heftet sich das letztere auch sofort an die Porenwände an, so dass das Filter nahezu gleichmässig damit durchdrungen wird (5). Bezeichnet x nach Formel 1 die Zeit, welche erforderlich ist um 1 mgr|L Eisen auf diese Weise zu entfernen, so nimmt diese Kontaktzeit mit wachsender Luftmenge beständig ab (6), der Eisenausfall m selbst aber ist der Wassermenge umgekehrt proportional (7). Legt man das letztere Verhältnis zu Grunde, indem man auch die Luftmengen (unter mittlerem Filterdruck gemessen) auf die Wassermengen bezieht (8), so ergibt sich aus Formel 2:

$$x \cdot \frac{Q + L}{Q} = P$$

Die Zeiten welche erforderlich sind, um gleiche Mengen Eisen abzuscheiden, verhalten sich umgekehrt wie die relativen Luftmengen: als Grundgesetz des Vorgangs. Die für eine bestimmte Filterkorngrösse charakteristische

Verhältniszahl P ist dann der Parameter einer gleichseitigen Hyperbel auf Asymptotenachsen bezogen, mit den Ordinaten x und $\frac{Q + L.}{Q}$

Es kommt somit lediglich auf die Geschwindigkeiten von Wasser und Luft im Filter an, um die Eisenreinheit des Filtrates auf jeden beliebigen Grad herabzudrücken. Die Höhe des Eisengehaltes ist kaum von Einfluss auf die Präzision der Abscheidung (11) wohl aber zum Teil die das Eisen in Lösung begleitenden Elektrolyte.

. Das theoretische Verständnis dieses Prozesses beruht auf dem Anprall der Flüssigkeit auf die Porenwände, die dabei als Katalysatoren in Wirksamkeit treten, um den gleichzeitig zur Verfügung stehenden Sauerstoff auf das Eisen zu übertragen (14 und 15).

V. Praktische Ausgestaltung des Verfahrens der Enteisenung im direkten Strom.

Fast in jeder Versammlung des Vereins von Gas- und Wasserfachmännern kehrt eine mehr oder weniger ausgedehnte Debatte über Erfahrungen in der Enteisenungsfrage wieder. Meistens handelt es sich um die Belüftung und Filtration als einzig rationelle und im Grossen durchgeführte Methode. Einrichtungen, die sich an einer Stelle bewährt haben, sollen anderswo versagen, wobei freilich dem Techniker zur Klärung seines Urteils nicht immer die nötige Auskunft über die Zusammensetzung und den faktischen Eisengehalt von Roh- und Reinwasser zur Verfügung steht. Aber auch über Geschwindigkeiten, über Sandmischung und Filterdicke, über die Periode der Reinigung und die Festhaltung eines gleichförmigen Produktes fehlt es an einer experimentellen Grundlage. Was der Hygieniker begehrt, kann der Ingenieur nur tastend oder auf gut Glück für den einzelnen Fall ausprobieren. Von unberufener Seite nacherfundene „Feinheiten“ machen im Privatgebrauch oder im Fabrikbetrieb das Übel meistens nur noch ärger, indem sie den Eisenschlamm überall

hin verzetteln: zu guter Letzt wird dann ein Kohlefilter vorgeschlagen, das freilich hilft, aber nur so lange bis es sich vollgesogen hat.

Trotz der gepriesenen Einfachheit, welche Kenner bei der Lösung solcher Schwierigkeiten im Munde führen, erfordert der Aufbau des Ganzen verschiedene Gerüste, Stockwerke oder gar eigene weitläufige Gebäude, wie sie nach dem Vorbild der Feinsandfilter, mit denen man ein Menschenalter über glaubte Flusswässer geniessbar machen zu können, dann als Zeichen weitgehender Vervollkommnung gelten. All das wird entbehrlich durch die im vorigen Abschnitt gewonnene Einsicht in die Bedingungen des Eisenausfalles in Berührung mit Luft. Es sind danach vier Punkte, auf die es ankommt.

1. der Filterinhalt (nicht der Querschnitt)
2. die Korngrösse, die zur Filtergrösse in Beziehung stehen muss.
3. die Wassergeschwindigkeit,
4. die mit dem Wasser in Berührung zu bringende Luftmenge.

Bei richtiger Verwendung dieser Elemente ist die Wirkung von der Zeit praktisch unabhängig. Man erspart also Vorrats- und Sammelbehälter, getrenntes Überpumpen und erneutes Aufpumpen, Massregeln gegen Frost und Erwärmung und kann die Reinigung von Eisen, die zugleich eine solche von mechanischen Trübungen in sich schliesst, an irgend einer Stelle der Leitung, am besten in der Druckleitung unterbringen. Dieser Vorteil in geschlossenem Strom zu arbeiten wird durch den nicht weniger schwer wiegenden begleitet, dass durch Stromumkehr jederzeit die Eisenschlammreste zu entfernen sind, ohne Gefahr der Unwirksamkeit durch Einbruch, Verstopfung, Verschmutzung oder gar langwieriger Unterbrechung zur Erneuerung des Filtersandes, wie sie die kostspieligen Strahlwäschen mit sich bringen.

Selbstverständlich gab nur die Unzulänglichkeit der Luftbeimischung bei dem System der Rieselung Veranlassung zur Herstellung weitschichtiger Räume, in denen langsam der Prozess der Oxydation seinen Fortgang nahm. Technisch bildet deshalb die Luft-

leitung den Schlüssel zur Ausgestaltung des neuen Verfahrens, wenngleich eine Erhöhung der Luftmenge über das direkt notwendige Mass hinaus, wie oben bewiesen, keinen entsprechenden Nutzen schafft. Es mag aus diesem Grunde die Behandlung der Luftzufuhr voranstehen, die eigentlich unter den vier Bedingungen des Gelingens an letzter Stelle kommt.

1. Die Luftpumpe. Eine solche muss es schon sein, wie sogleich näher begründet werden soll. Denn das Verhältnis von Luft und Wasser darf in keinem Fall unter 1 sinken; andernfalls wird der Gang der Enteisenung unregelmässig. Sonst könnte nichts leichter gedacht werdon, als bei einem beliebigen Pumpsystem solche Undichtheiten, wie sie von selbst sich einstellen, zu vergrößern und so auf Kosten der Saugeleitung die Luft im Windkessel fleissig zu erneuern. Indessen weder die zur Vermeidung von Wasserschlägen gebräuchlichen Schnarchventile, noch Strahl- oder Saugapparate führen hier zum Ziel, weil sie nicht erlauben, unveränderliche Mengen bei verschiedenem Gang der Pumpe einzulassen. Injektoren, bei denen der Wasserstrahl die Luft einsaugt, bringen ausserdem rasch wachsende Drücke, also Kraftvergeudung, und Aspiratoren, die umgekehrt mit Luft das Wasser nachsaugen, erfordern unbequem grosse und dadurch hinderliche Luftmengen. Beiläufig bemerkt, hilft auch die im 3—5 fachen Überschuss angewandte Luft in den amerikanischen Pressluftpumpen nichts für den genannten Zweck, wie blinde Reklame ihr oft andichtet. Denn da diese Luft, um ihrer Aufgabe gerecht zu werden, frei entweichen muss, ihre Berührung mit dem Wasser aber nur kurz und in breiten Flächen erfolgt, so verschmiert das ausfallende Eisenhydrat höchstens die Rohre, ohne dass es zu einer ordentlichen „Enteisenung“ kommen könnte.

Mit Rücksicht auf den geringen erforderlichen Überdruck, der selten über $^1|_2$, kaum je über 1 Atmosphäre steigen dürfte, genügt indessen eine Luftpumpe einfachster Art. Man vergegenwärtige sich den ähnlichen Fall beim Aufblasen von Radfahrreifen. Wo eine richtige Kolben- oder Plungerpumpe vorliegt, lässt sich der Antrieb leicht durch Verlängerung der Kolbenstange

und Aufsetzen eines zweiten Cylinders in der Verlängerung des gegebenen gewinnen. Deseniss & Jacobi haben eine Reihe von Konstruktionen dafür durchgeführt, die sich dem jeweiligen Bedürfnis anpassen und ihrer Bestimmung gemäss unter der gemeinsamen Bezeichnung „Bastardpumpe“ gehen.

2. Enteisenung in der Handpumpe. Wichtig ist die von dieser Firma getroffene Einrichtung für Schwengelpumpen, die ja für den Hausbedarf seit Alters die weitaus gebräuchlichste Form der Wasserförderung darstellen. Der Hub ist dabei zwar begrenzt aber ungleich, und unwillkürlich um so kürzer, je grössere Anstrengung der Muskelkraft zugemutet wird. Das Wasser kommt dann oft stossweise und langsam, aber doch sicher. Ein so eminent elastisches Medium wie die Luft würde aber durch einen unausgiebigen Hub überhaupt nicht angesaugt, sondern höchstens zwischen den Ventilen federn. Da es nun gerade darauf ankommt ein unabänderliches Luftverhältnis mit dem geförderten Wasser zu wahren, wie viel oder wie wenig das letztere auch sei, so ist Vorsorge getroffen, dass das Wasser den Luftraum durchfliesst, die abgetrennte Gassäule dabei vor sich herschiebt und mit derselben in's Filter gelangt. Nur durch diese jedesmalige Auffüllung der Luftzelle und das infolge des Fortrückens des Wasserkolbens dahinter unfehlbar sich vollziehende Öffnen des Lufteinlassventils war das Problem zu lösen eine beliebige Schwengelpumpe von noch so bescheidener Art der Enteisenung dienstbar zu machen. Die beifolgende Figur 5 gibt ein halbschematisches Bild der möglichen Anordnung. Dabei ist das Ganze in einem Hülfsschacht untergebracht. Über dem Wassercylinder, der bei tiefem Wasserstand auch entsprechend weit in den Brunnen hinabrücken kann, steht der Luftcylinder. Von da gelangt das Gemisch mittelst eines Vierwegehahnes von oben in das Filter. Bei entgegengesetzter Hahnstellung tritt der Strom unten ein und bewirkt die zur Entfernung des angesammelten Eisenschlammes notwendige Durchspülung.

Der ganze Apparat lässt sich auch im Ständer unterbringen, ebenso, falls erwünscht, getrennt vom

Brunnen selbst im Keller, in der Küche oder wo sonst geeigneter Raum sich bietet. Genau wie irgend eine gewöhnliche Pumpe ist auch diese stets gebrauchs-

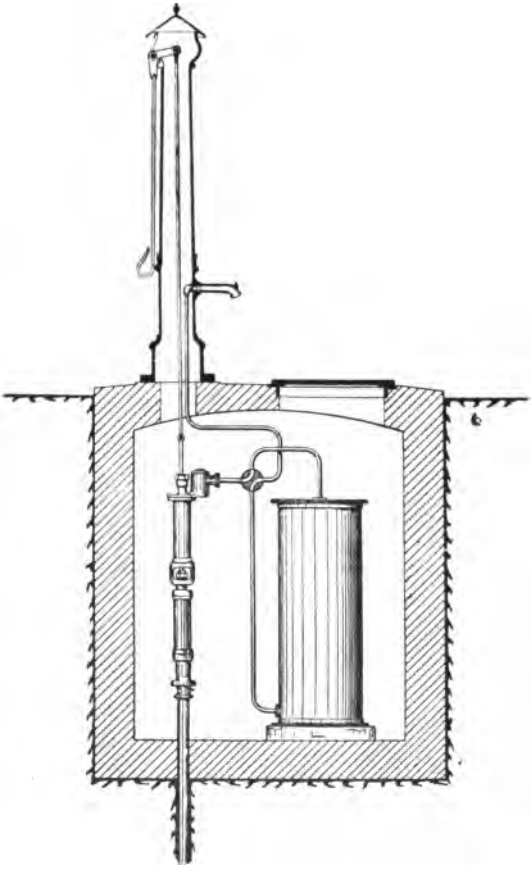


Fig. 5.

fertig und bis auf den geringen unvermeidlichen Verschleiss der beweglichen Teile unverwüstlich. Die Gefahr, dass das Wasser im Sommer zu warm, im Winter zu kalt ausfallen oder gar zu Frostschäden Veranlassung

geben könnte, fällt hier ganz weg, da ja der Filter im besten Falle nur zu 1|4 bis 1|3 Wasser enthalten kann. Durch die unter Druck eintretende Luft wird aber auch diese Füllung, sobald die Pumpe zur Ruhe kommt, einfach bis auf einen verschwindend kleinen im Kies verteilten Rest ausgeblasen. Die natürliche Frische und Erdkühle bleibt so dem Wasser samt allen übrigen Eigenschaften gewahrt. Sogar der Gasgehalt von Säuerlingen, bei denen der Eisengehalt häufig genug störend entgegentritt, wird nicht merklich verändert. Geringe mechanische Unreinigkeiten aber hält das Kiesbett noch nebenbei zurück.

Ein Frosthahn für das Filter wird sonach entbehrlich; es wäre nur für etwaige Entwässerung des Leitungsstückes zwischen Filter nnd Zylinder Sorge zu tragen, falls nicht frostsicher verlagert.

Durch die zeitweilige Durchlüftung des Filterraumes nach Beendigung des Pumpens kommt die merkwürdige Erscheinung zu Stande, dass die ersten Schwengelhübe beim Wiederbeginn ein ganz ausgezeichnet reines Wasser fördern. Das erklärt sich so. In der Ruhe nimmt nicht allein die Luft die Poren im Kies bis auf die wenigen den Winkeln hartnäckig anhaftenden Wasserteilchen ein, sie findet auch Zeit diese völlig zu enteisenen. Der neue Wasserstrom aber begegnet, während er mit höchstens 0,1 m|Min. Geschwindigkeit sich ausbreitet, diesem Übermass zurückgebliebener Luft, die nach dem Gesetz, dass die Wirkung ihrer Menge proportional geht, im selben Sinne förderlich wirkt. Auf diese Weise geschieht es, dass die ersten Liter Wasser kaum eine überhaupt nachweisbare Spur Eisen noch mitbringen und erst nach einigen Minuten das normale Gleichgewicht sich einstellt, das dann ununterbrochen vorhält.

3. Das Filter. Weit unbeschränkter noch als die Wahl der Pumpe, ist Gestalt und Ausbildung des Filters. Zwar hängt der Grad der Eisenreinheit von seiner Grösse, oder besser gesagt seinem Inhalt ab. Da aber die Dimension wieder mit der Feinheit des Sandes sich ändert, wie oben im Einzelnen mit Zahlenreihen belegt, so hängt es nur von den gegebenen Umständen

ab, eines mit dem anderen auszugleichen. In erster Linie wird der Druck ausschlaggebend sein, der ohne eigentlichen Einfluss auf den Vorgang der Enteisenung selbst zu üben, den Arbeitsaufwand vermehrt, und der einerseits mit der Filterhöhe, andererseits mit der Feinheit des Filterkorns wächst.

Wesentlich ist nur, dass das Filter geschlossen sei, weil es nicht genügt, dass die Luft vorher mit dem Wasser sich tüchtig vermengt, sondern eben dem Filter die doppelte Aufgabe zufällt, diese Vermischung und zugleich die Oxydabscheidung zu bewirken. Filterfläche und -querschnitt bleiben (entgegengesetzt der gebräuchlichen Vorstellung) aus dem Spiel. Man bedarf sonach nicht einmal eines besonderen Gefässes und könnte unbedenklich die Rohrleitung selbst dazu benutzen. Sofern dieselbe hinreichende Fläche bietet (nur hierauf kommt es an) erfüllt sie auch den gedachten Zweck. Reicht die Fläche nicht aus, so wäre es denkbar sie durch grobes Füllmaterial an Steinen und Grus (wie bei Kokes und Ziegelsteintürmen) hinlänglich auszuweiten.

Was die Aufstellung besonderer Filterbehälter befürwortet ist lediglich das Bedürfnis den darin sich anhäufenden Eisenschlamm gelegentlich abstossen zu können. Für gewöhnlich werden zylindrische Blechgefässe dafür sich eignen, deren Durchmesser eine Weite von 1—1½ m, die eine gute Verteilung des durchziehenden Stromes verbürgt, deren Höhe dasselbe Mass nicht überschreitet. So hält sich der Filterdruck in passenden Grenzen. Aus demselben Grund empfiehlt es sich auch wachsende Mengen lieber durch parallele als durch Hintereinanderschaltung zu bewältigen. Die Hoffnung, den grösseren Teil der Unreinigkeit im ersten Durchlauf zu gewinnen, hat nach den obigen Darlegungen keine Berechtigung, weder bei eisenarmen, noch bei stark eisenhaltigen Wässern. Einen etwa bereits ausgeschiedenen Schlammabsatz wird man allerdings gut tun nicht erst in's Filter zu bringen, nur um ihn später mit dem übrigen wieder daraus zu entfernen.

Die richtige Korngrösse richtet sich wiederum nach der Art des Wassers und dem Wert, welchen man dem absoluten Grad der Reinigung beimisst. Wässer von

grosser vorübergehender Härte sind geneigt viel Kalk im Filter abzusetzen und seine Poren rasch zu verbacken. Die Sicherheit auch bei ungünstiger Umlagerung des Filtermaterials noch volle Enteisenungskraft zu behalten liegt natürlich auf Seite des kleinen und vor allem durchweg gleichförmigen Korns. Es wäre jedoch töricht nach kleinerem Kaliber zu greifen als für den betreffenden Zweck angebracht, weil der Druck umgekehrt mit dem Quadrat des Korndurchmessers steigt.

Da es praktisch wohl nie auf einen bestimmten Eisenrestgehalt, sondern entweder auf dauerndes Klarbleiben oder auf möglichst vollständige Eisenfreiheit ankommt, muss die Vorsicht den Filterinhalt lieber allzu geräumig als zu knapp zu bemessen von selbst sich aufdrängen.

4. Filterreinigung. Ein Hauptaugenmerk bei der Verteilung und Gestaltung der Filter verdient die Frage ihrer Reinigung. Man kann dreist behaupten, dass eine Anlage, welche von dem darin sich anhäufenden Niederschlag nicht leicht und ohne jede Störung sich befreien lässt, für den wirklichen Gebrauch wertlos ist. Das bedenken die wenigsten findigen Köpfe, die nach „bekannten Prinzipien" aus einigen Leisten, Kisten und Lutten ein freierdachtes Verfahren improvisieren.

Die Metallmengen, welche bei Zentralversorgungen als Ballast bei Seite geschafft werden, schwellen oft zu recht ansehnlichen Beträgen; für eine Stadt von 100000 Seelen z. B. mit einem täglichen Verbrauch von 100 Litern pro Kopf wären bei nur 1 mgr|L ausgeschiedenem Eisen schon 10 kg oder nahezu $^1|_2$ Zentner Eisenerz in Anschlag zu bringen. Eine direkte Verwertung erscheint zunächst ausgeschlossen; eine regelmässige Abfuhr im Grossen sogut als im Kleinen darum nicht weniger geboten. Die Meinungen schwanken wie in allem was auf die seitherige Form der Eisenabscheidung sich bezieht, auch betreffs der Frist, in welcher die Entlastung der Filter von ihrer Überkrustung stattfinden soll. Ja die Erfahrung, dass diese Kruste die Oberfläche für die Oxydation empfindlicher macht, redet geradezu einer recht ausgiebigen Belassung das Wort. Jeder Vorgang indessen, der nicht periodisch sich um-

kehrt, muss im Haushalt des Lebens Unzuträglichkeiten stiften.

So auch hier. In den reihenweise aufgemauerten Rieselbatterien einer typisch gewordenen Enteisenungshalle soll der Überzug mit schuppigem Hydrat auch in langen Jahren weiter den Betrieb nicht stören. Es werden aber lockere Brocken und Fetzen von diesem Ansatz unvermerkt auf das Filter getragen und sammeln sich an der Oberfläche. Wenn die filzige, der Natur der Sache nach von zahllosen Lebewesen bevölkerte Deckschicht dem Durchfluss zu grossen Widerstand entgegensetzt, muss man sie aufbrechen, abtragen und durchspülen: eine recht umständliche und nichts weniger als automatische Prozedur. Bringt man dabei wie in den drehbaren Trommelfiltern oder durch Einblasen von Dampf und Luft von unten sogleich die ganze Masse in Bewegung, so heisst das mindestens gute Arbeit an einen Vorgang verschwenden, der sie nur zum kleinsten Teil lohnt.

Anders bei der im Ganzen gleichmässigen Verteilung des Eisenschlammes durch ein im Wasser- und Luftstrom belegenes Kiesfilter. Das eben erst in fester Form gebildete Oxyd lagert ja hier nicht zwischen den Körnern, weil es sich in den schmalen Durchlässen verklemmt: es heftet sich vielmehr beim Entstehen der nach oben gekehrten Körnerfläche in der Weise an, dass unbestimmte Zeit über neue Teilchen den alten sich anfügen. Die nicht vom gemeinsamen Strom getroffenen Unterseiten halten sich rein. Kehrt man nun den Strom um, so heben sich die angetriebenen Teilchen ebenso leicht los als sie sich anlagerten und treten als gelblich trübe Flüssigkeit aus. Nicht alle: ein guter Teil bleibt hartnäckig haften und vermehrt so den Umfang des Korns. Selbst durch Reiben und Gleiten ist dieser Ansatz nicht loszulösen. Er stört aber die Reinheit der Filtration nicht im mindesten und ist ruhig an seinem Platz zu belassen.

Diese Stromumkehr erfolgt nach der von den Erfindern getroffenen Einrichtung durch eine einzige Hahnumstellung, während die Pumpe ungestört weiterarbeitet. Diejenige Stellung, wobei der Strom von oben nach

unten das Filter durchsetzt, ist auf einer Scheibe unter dem Handgriff mit „Reinwasser“, die entgegengesetzte mit „Spülwasser“ bezeichnet. Man kann beide jeden Augenblick mit einander vertauschen und erhält immer das gewollte Produkt. Natürlich fliesst das Spülwasser um so reiner, je weniger Schlamm überhaupt sich angesammelt hatte. Fleissige Benutzung dieses einfachen Mechanismus bietet eine sichere Gewähr seines tadellosen Spieles. Ja es ist geradezu zu bedauern, dass kein Zwang eintritt, etwa nach einer gewissen durchgesetzten Wassermenge den Eisenrückstand herauszudrückeu, es sei denn, dass der Druck bereits merklich angewachsen, was bei mechanischem Betriebe nicht direkt fühlbar wird. Die kleine Umständlichkeit einer automatischen Auslösung müsste sich ohne Weiteres verlohnen.

Der Filtersand selbst wird weder erneuert, noch umgewühlt, noch überhaupt geöffnet. Nach einer weiter oben gegebenen Berechnung liesse sich bei ganz genauer Kontrolle aus dem abgeführten Schlamm und dem Grade der Reinheit das Filtrates die allmähliche Volumzunahme im Voraus bestimmen. Sie bleibt natürlich in praktisch durchaus belanglosen Grenzen.

5. Aufstellung und Kraftbedarf. Die Reihenfolge der Anordnung einer Anlage zur Enteisenung im direkten Strom kann nicht anders sein als:

1. Wasserhebung,
2. Luftzumischung,
3. Kontaktfilter.

Die räumliche Verteilung dieser Elemente aber erlaubt die weitgehendsten Abänderungen in jedem einzelnen Fall. Sie kann sich dem jeweiligen Bedürfnis anbequemen, die Luftpumpe mit der Wasserfördermaschine vereinigen oder beide völlig von einander trennen, den Filter unmittelbar daneben oder nahe dem Verbrauchsorte aufstellen, endlich die beiden Fluida getrennt oder bereits vermengt der Kontaktzone überliefern. Das ist von Wichtigkeit überall wo nachträglich erst das Bedürfnis der Eisenreinigung sich geltend macht.

Der Umfang einer solchen Freiheit entspringt unmittelbar aus dem Wesen eines geschlossenen Leiters.

Genau wie ein Verteilungsnetz jede Zapfstelle an die Schöpfquelle anschliesst und selbst die Vorteile der Druckhöhe bis in die letzten Äste bewahrt, wenngleich die Hauptstränge tief unter dem Strassenpflaster hinziehen, wie Licht und Schall durch elektrische Drähte leicht überallhin zu bringen sind, so bildet sich hier innerhalb des Systems das unbrauchbare, die Rohre verstopfende Eisenwasser zu einem alle Ansprüche befriedigenden Genussmittel um. Man möchte die Wirkung ihrer Einfachheit, nicht der Qualität nach mit elektrischen Transformatoren vergleichen, die selbsttätig verschiedene Spannungen in die jeweils verlangte verwandeln. Nur dass beim Reinwasser von einer Umkehr zum ursprünglichen Zustand keine Rede sein kann.

Bei der Oxydation an freier Luft (und eine solche war, abgesehen von den selten gebrauchten chemischen Zusätzen, seither die einzig bekannte) musste das Wasser der eigenen Schwere überlassen langsam seinen Weg über Brausen, Verteiler, Platten und weitläufige Filter nehmen. Soweit von Eisen befreit konnte das Wasser nur mit Hülfe einer neuen Pumpe gehoben werden. Prinz[1]) hat eine Reihe der wichtigsten Werke dieser Art geschildert und zum Schluss eine überschlägige Kostenberechnung solcher Anlagen im Vergleich zu Flusswasserreinfiltern gegeben. Der völlige Verzicht auf die letzteren ist aus finanziellen so gut wie hygienischen Gründen allerorten nachgerade nur noch eine Frage der Zeit. Mit den Enteisenungskellern und -türmen dürfte es ähnlich ergehen. Hier soll nun unter Beiseitelassung des Gewichtes, das dem angedeuteten grossen Apparat innewohnt, nur ganz im Allgemeinen im Sinne der reinen Mechanik die Arbeitsleistung gekennzeichnet werden, welche der offene gegenüber dem geschlossenen Strom zur Anlieferung eisenfreien Wassers beansprucht. Es braucht nicht wiederholt zu werden, dass der Erfolg im letzteren Falle auch qualitativ genau zu regeln, und vor allem von der Anfangskonzentration nur prozentual abhängig ist.

[1]) Eisenhaltiges Grundwasser und die konstruktive Behandlung von Enteisenungsanlagen. (Journal f. Gasbel. XIV 1902 S. 149.)

Mit 3 Metern muss man die Höhe ansetzen, welche der Belüfter gewöhnlicher Ausführung sammt Zuleitung über dem eigentlichen Retentionsfilter einnimmt. Das wären ebenso viele Kilogrammmeter für jedes Kilo Wasser. An Stelle dieser Hebung, wobei jede dem Strom noch innewohnende Kraft verloren zu geben ist, tritt bei dem Kontaktfilter der Geschwindigkeitsdruck. Nach IV. 18 stellt sich derselbe für je 0,1 m|Min. in einem Filter von 1 m Höhe auf 0,31 + 0,09 Atmosphären für $^1/_2$ mm Korn und auf 0,07 + 0,03 Atmosphären für 1 mm Korn. Bei einer mittelfeinen Füllung wäre sonach etwa 0,25 Atmosphären als ausreichend zu erachten. Die Wasserpressung drückt sich in entsprechend vielen Kilogrammmetern aus = 2,5 und diese Zahl wird durch die Luftpressung nur um ein Geringes erhöht.

Sonach steht in keinem Fall zu gewärtigen, dass bei sachgemässer Disposition höhere Arbeitsaufwände in Frage kämen, während die Reduktion der ganzen Anlage nach Umfang und Kosten in die Augen springt.

Damit soll keineswegs dem Grundsatz das Wort geredet werden, dass die primitivste Ausführung in solcher Angelegenheit die beste sei. Im Gegenteil: es ist töricht, wenn in kurzsichtiger Beschränkung Einrichtungen zu Stande kommen, die eben, weil nur Notbehelfe und Lückenbüsser, das ganze Verfahren nachträglich in Frage stellen, jedenfalls aber in unverdienten Verruf bringen. Man hat oft gesagt, gewiss in der guten Absicht die Verbreitung von Enteisenungsvorrichtungen zu befördern, dass sich für wenige Pfennige ein Fass und ein Hahn beschaffen und mit Kies gefüllt dem gedachten Zweck anpassen liessen. Nur sollte man dabei nicht vergessen, dass in solchem Fall halbe Arbeit schlimmer wirkt, als gar keine. Einmal weil eine bloss gradweise Reinheit von Eisen praktisch Niemandem nützt, vielmehr das Filtrat schlechterdings klar bleiben muss, vor allem aber weil beim Mangel einer einfachen Reinigungsvorrichtung für den Reiniger derselbe den Dienst bald versagt. Nichts Gefährlicheres als ein vernachlässigtes halbverstopftes Filter; keine geeignetere Brutstätte für die gefürchteten Infektionskeime.

Man nehme zur Illustration das entgegengesetzte Ende des Stoffwechsels: die Beseitigung der menschlichen Abfallstoffe. Für einen Abort braucht es wahrlich kein konstruktives Studium, damit er dem augenblicklichen Bedürfnis genüge. Dennoch ist unsere Zeit mit Leitungen, Spülung, Geruchverschlüssen im Verbessern unermüdlich. Dabei harrt die wichtigste Frage, die der wirtschaftlichen Verwendung des Unrats, noch einer besseren Lösung. Immerhin ist der Benutzer zunächst des für ihn Überflüssigen ledig. Wie anders beim Trinkwasser, das jede Vernachlässigung auf die Dauer durch geheime Schädigung rächt. Ein richtiger Hahn wird dabei leicht zur Lebensfrage, die sichere und immer bereitstehende Entfernung des angesammelten Eisenschlammes zur Hauptsache. An dem Mangel der letzteren kranken fast alle von unberufener Hand eingestellten Reiniger, die sehr zu Unrecht ihren Namen führen. Flickkram und falsche Sparsamkeit sind leider beim Brunnenbohren und was damit zusammenhängt noch immer die Regel. Aber das Bewusstsein der ernsten Pflicht sich und andere vor Unheil zu bewahren ist auch hier berufen, sicher Wandel zu schaffen. Dann erst können die meisten mit Unrecht verläumdeten Bodenwässer zu richtiger Wertschätzung gelangen.

Nur das Gute ist billig, nur das dauernd Brauchbare preiswert.

Hamburg, Mai 1904.

Inhalt.

I. Das Auftreten und Verhalten eisenhaltigen Wassers 3

1. Stahl- und Eisenwässer 3
2. Eisenabscheidung 5
3. Verhalten zu Sauerstoff und Kohlensäure 7
4. Eisen als Karbonat gedacht 8

II. Herkunft des Eisens 10

1. Künstliche Lösungen 10
2. Eisenverteilung im Boden 11
3. Löslichkeit von Eisenoxyd 12
4. Humussubstanzen 14
5. Das Eisen im Organismus 15
6. Eisen aus Moorgrund 17

III. Behandlung von Eisenwässern 20

1. Absitzenlassen 20
2. Belüftung 21
3. Filtration 22
4. Zusatz von Fällmitteln 23
5. Kohlefilter 24
6. Der Niederschlag 26

IV. Neue Versuche 27

1. Methode der Eisenbestimmung 28
2. Zusammensetzung des verwendeten Wassers . . . 30
3. Die Versuchsanordnung 32
4. Der Vorgang beim Zusammentreffen von Wasser und Luft im Filter 36
5. Gleichmässiges Überziehen des Filters mit Eisenschlamm 39

6. Versuche mit $^1/_4$ mm Korn 40
7. Versuche mit $^1/_2$ mm Korn 45
8. Abscheidungszeit der Luftmenge umgekehrt proportional 47
9. Versuche mit 1 mm Korn 54
10. Versuche mit 2 mm Korn 56
11. Einfluss des Eisengehaltes und der Elektrolyte auf die Schnelligkeit der Abscheidung 58
12. Die Rolle des Sauerstoffs bei der Eisenabscheidung 65
13. Luftmenge und Kontakt 66
14. Enteisenung durch Ausschütteln 67
15. Wechselwirkung von Gas und Flüssigkeit 71
16. Geometrie des Filteraufbaus 73
17. Mechanismus der Luftbewegung im Filter 77
18. Druckverhältnisse im Filter 79
19. Versuche im Grossen 85
20. Zusammenfassung der Ergebnisse 89

V. Praktische Ausgestaltung des Verfahrens der Enteisenung im direkten Strom 90
1. Die Luftmenge 92
2. Enteisenung in der Handpumpe 93
3. Das Filter 95
4. Filterreinigung 97
5. Aufstellung und Kraftbedarf 99

YC 13192